

Scaunele sunt montate de-a-lungul pereților cupeului, sau de-a-curmezișul; în ultimul caz, numărul locurilor pe un rând e de $2+1$ sau $2+2$ (la vagoane cu lăimea depășind 2,300 m), dimensiunile locului pe scaun pentru un călător fiind de 410...500 mm. De plafonul sau pe pereții cupeului se fixează bare cromate, curele sau mânere, pentru pasagerii cari călătoresc în picioare.

Trucul: Cărucior format dintr'un cadru și din trenurile de roți (osii cu roți montate), inclusiv timonerie a frânei, și pe care se sprijină elastic cupeul (caroseria) vagonului; la vagonul motor, trucul cuprinde și motoarele de tracțiune, cu angrenajele de transmisie a mișcării la roți. De obicei, trucul cu o osie se numește truc simplu sau semitruc, iar cel cu două osii, truc dublu sau (abreviat) truc. Ampatamentul vagonului cu două osii (a) se determină din relația $a=R/7$, unde R e raza celei mai strânse curbe a liniei (în general, $a=2000\cdots3600$ mm); pentru realizarea unui mers mai liniștit al vagonului, trebuie ca raportul (x) dintre lungimea totală a vagonului și ampatament să fie $x \leq 3,5$.

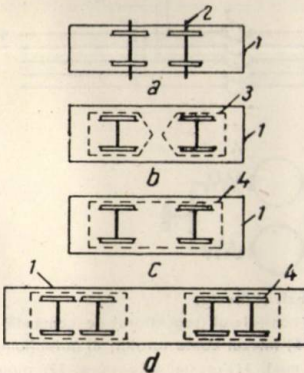
După felul construcției aparatului de rulare, se deosebesc următoarele tipuri de vagoane de tramvai: cu osii libere (fără truc), cu trucuri simple, cu un truc dublu (vagon cu două osii), cu două trucuri duble (vagon cu patru osii). — La vagoanele cu osii libere, cupeul se sprijină direct pe osie, prin intermediul cutiei cap de osie și a resorturilor suspensiunii, osiile având un joc mic longitudinal și transversal. Aceste vagoane sunt foarte simple, ușor de construit și de întreținut, dar osiile libere nu se folosesc la vagoanele cu capacitate mare (v. fig. IV), deoarece nu se așază radial în curbe. — La vagoanele cu două osii, cu două trucuri simple (cu câte o osie), înscirarea în curbe e mai ușoară, dar stabilitatea în curbe e mică (vagoanele au mișcare de șerpuire) și uzura bandajelor (în special a buzei) și a șinei e mai mare. Pentru limitarea oscilațiilor

se introduc bielete cu articulații cardanice, cari leagă trucul de cupeu. Aceste trucuri se folosesc mai mult la remorcare. — La vagoanele cu două osii, cu un truc dublu (cu două osii) dispus

sub mijlocul cadrului cupeului, înscirarea în curbe reclamă un consum suplimentar de energie (din cauza rezistențelor de rulare ale roților, osiile nefiind radiante), dar stabilitatea în curbe e mare. Uzura buzei bandajelor și a șinei (în curbe) e relativ mare. Cupeul se reazemă pe truc prin intermediul unor resorturi elicoidale sau lamelare, iar cadrul trucului e suspendat elastic pe osii (de asemenea, prin resorturi elicoidale sau lamelare). — La vagoanele cu patru osii, cu două trucuri duble pivotante (numite boghiuri), înscirarea în curbe nu e dificilă (la vagoanele cu capacitate mare se folosesc boghiuri cu osii radiante) și stabilitatea e mare, deoarece lungimea boghiului e mult mai mică decât la trucurile duble (cu două osii) ale vagoanelor cu două osii (1,3...16, m față de 2...3,1 m). Cupeul se reazemă în pivot pe traversa oscilantă a boghiului, fără vreo suspensiune intermediară, dar boghiurile sunt construite cu sisteme de suspensiune dublă, longitudinală și transversală. Cu aceste vagoane se pot atinge viteze până la 60...70 km/h.

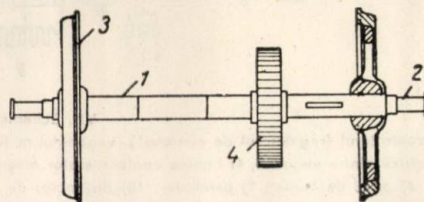
Suspensiunea: Ansamblul de resorturi și elemente de legătură ale unui vagon de tramvai, care se poate realiza în mai multe feluri. La vagoanele cu osii libere (fără truc), se realizează prin resorturi lamelare (arcuri cu foi), pe cari se sprijină cupeul la vagoanele cu trucuri simple, prin resorturi lamelare sau elicoidale, eventual combinate; la vagoanele cu un truc dublu, prin resorturi lamelare sau elicoidale între cupeu și truc, și prin resorturi lamelare (arcuri cu foi) între cadrul trucului și osii (în dreptul cutiei cap de osie); la vagoanele cu boghiuri se realizează sisteme combinate de resorturi lamelare și elicoidale, inclusiv suspensiunea transversală a traversei oscilante (pe care se reazemă cupeul), eventual completată cu amortizoare (de ex.: tampoane de cauciuc).

Trenul de roți: Osia montată (v.), adică osia cu cele două roți — osia motoare (la vagoanele motoare) fiind echipată și cu coroane de angre-



IV. Tipuri de vagoane de tramvai.

a) vagon cu osii libere; b) vagon cu două osii, cu două trucuri simple (semitrucuri); c) vagon cu două osii, cu un truc dublu; d) vagon cu patru osii, cu două trucuri duble; 1) cadrul vagonului; 2) osie; 3) truc simplu (cu o osie); 4) truc dublu (cu două osii).



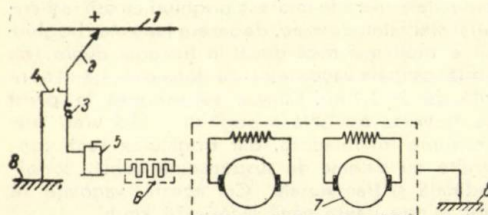
V. Trenul de roți al unui vagon-motor de tramvai.

1) osie; 2) fus cap de osie; 3) roată de rulare; 4) roată de angrenare cu motorul de tracțiune.

naj (v. fig. V). Fusurile dela capetele osiei, pe cari se montează cusineți sau rulmenți (în cutia cap de osie) sunt prelucrate fin; diametrul osiei (care se fabrică din oțel cu rezistența la întindere între 50 și 65 kg/mm² și cu alungirea specifică mai mare decât 18%) e de 120...130 mm și cel al fusului, de 90...100 mm. Osile pentru

vagoane motoare au o durată de 5...10 ani, iar cele pentru remorțe, de 7...12 ani.

La tramvaie se folosesc numai roți cu bandaje. Roțile pot fi pline (mai robuste), sau cu spițe (mai ușoare). Roțile pline durează 7...12 ani la vagoanele motoare și 10...15 ani la vagoanele-remorțe; roțile cu spițe durează 6...8 ani și, în general, se fisurează la locul de îmbinare cu obada și se ovalizează mai repede decât cele pline (ceea ce provoacă slăbirea bandajelor). Bandajele (care se laminează din oțel cu rezistența la întin-



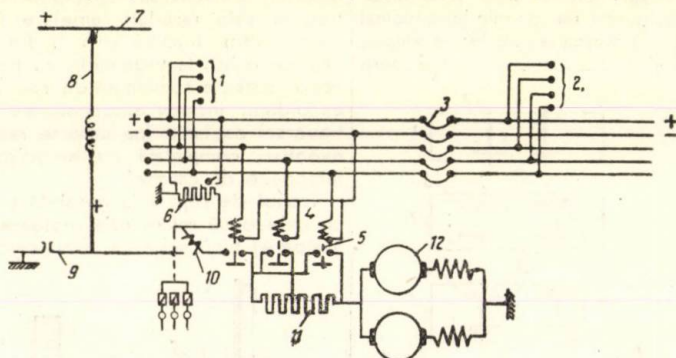
VI. Schema de conexiuni a circuitului de forță al unui vagon motor.

1) fiul aerian (firul de contact); 2) priză de curent; 3) bobina de reacție; 4) paratoner; 5) reostat de pornire; 7) motor de tracțiune; 8) șină.

dere de 75...90 kg/mm², cu alungirea specifică mai mare decât 10% și cu o contracțiune specifică mai mare decât 14%) sunt aproape cilindrice, cu formă

de aer comprimat. Instalația principală e cea de forță, care se compune din priza de curent (arc de contact, troley sau pantograf), bobina de reacție, disjonctorul de curent maxim, siguranța generală, controlerul (regulatorul de mers) și motorul cu reostat de pornire (v. fig. VI). Echipamentul electric al vagonului de tramvai, care se montează într-un spațiu limitat, trebuie să funcționeze în regim de lucru cu un mare număr de întreruperi și restabiliri ale curentului electric, cu variații ale tensiunii de alimentare la priza de curent, variații mari ale curentului de alimentare a motoarelor, solicitări dinamice (trepidații, șocuri, etc.), variații brusce de temperatură, acțiunea agenților atmosferici și murdărie.

Conducerea vagonului de tramvai reclamă efectuarea următoarelor operațiuni: pornirea motorului, prin legarea succesivă în serie și în derivație a motoarelor, cu introducerea în serie a rezistențelor de pornire și apoi eliminarea lor treptată; reglarea vitezei în timpul mișcării vagonului, prin întreruperi de curent sau prin shuntarea poliilor; frânarea (electrică, pneumatică, manuală), etc. Conducerea poate fi directă, când trenul are un singur vagon motor și forța necesară pentru manevrarea controlerului (regulatorului) nu e prea mare, sau indirectă (comandă dela distanță sau telecomandă), când trenul are mai multe vagoane motoare și e condus numai dela vagonul din față (v. fig. VII). Toate operațiunile



VII. Schema comenzii indirecte.

1) controlerul (regulatorul de comandă) vagonului motor; 2) controlerul (regulatorul de comandă) remorței; 3) cupla electrică dintre vagoane; 4) bobina contactoarelor magnetice; 5) miezul contactorului; 6) potențiometru; 7) firul aerian; 8) priză de curent; 9) paratoner; 10) disjonctor de curent mixt; 11) reostat de pornire; 12) motor de tracțiune.

adecvată șinelor cu gghiab și care asigură o aderență mai bună a roții la șină. Bandajele roților vagoanelor motoare suportă o distanță rulată de 70...80 de mii de kilometri la vagoanele motoare și de 110...150 de mii de kilometri la remorțe.

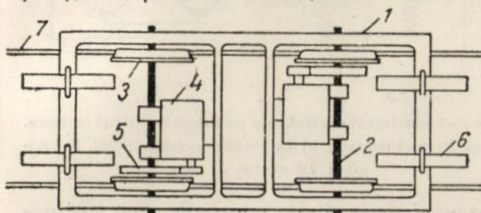
Ecartamentul roților e de 1435 mm pentru linii normale și 1000 mm pentru linii înguste; în U.R.S.S., ecartamentul e de 1524 mm pentru liniile lăți și de 1000 mm pentru liniile înguste. Diametrul roților variază între 600 și 880 mm.

Echipamentul electric: Totalitatea instalațiilor de forță, de lumină și semnalizare, de încălzire și

de conducere directă sau indirectă se realizează prin manevrarea unui controler (de către manipulant), care e un regulator de joasă tensiune și poate fi: cu acționare automată, când succesiunea diferitelor contacte e automată (după ce manipulantul a apăsă pe un buton), sau cu acționare manuală, când stabilirea contactelor pentru diferite poziții de mers e efectuată de manipulantul vagonului (cu rapiditatea corespunzătoare accelerării necesare).

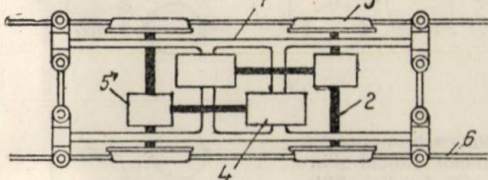
Motoarele de tracțiune sunt motoare electrice, cari trebuie să desvolte un cuplu mare de dema-

rare, și să permită reglarea vitezei și a cuplului motor în limite largi (cu consum minim de energie electrică și cu variația fără șocuri a forței de tracțiune). În general, se folosesc motoare serie de curent continuu, autoventilate. Caracteristicile constructive ale motoarelor, modul de fixare și dimensiunile sunt determinate de felul transmisiei. La vagoanele de tramvai se folosește, de obicei, transmisia individuală (v. fig. VIII și IX), care poate fi: directă, rotorul motorului



VIII. Truc cu suspensie elastică unilaterală a motorului. 1) truc; 2) osie; 3) roată; 4) motor de tracțiune; 5) angrenaj; 6) resort de suspensie a vagonului pe truc; 7) și 8).

fiind montat direct pe osia motoare a trenului de roți; prin angrenaje cilindrice, motorul având suspensie elastică unilaterală; prin angrenaje



IX. Truc cu motorul fixat rigid.

1) truc; 2) osie; 3) roată; 4) motor de tracțiune; 5) cutie de angrenaje; 6) și 7).

cilindrice sau conice și cuplaje elastice sau cardanice, motorul fiind fixat rigid pe cadrul trucului.

Instalația de lumină și semnalizare, în general alimentată de la rețea (la tensiunea de 550 V sau 750 V), se realizează folosind becuri antitrepidante (cu număr mai mare de suporturi pentru filament), de 120 V sau 220 V, legate în serie. În interiorul vagonului, la înălțimea de 1 m de la podea, iluminarea trebuie să fie de 30...40 lumeni. Instalația de semnalizare, între vagoane sau în interiorul vagoanelor, trebuie să asigure comanda comodă și rapidă a semnalului, recepționarea directă de manipulant a semnalului comandat din fiecare vagon al trenului, și controlul semnalului.

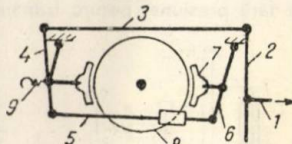
Instalația de încălzire a vagoanelor de tramvai cuprinde radiatoare electrice, simple și bine izolate electric, cari se montează sub scaune. Uneori se instalează în cupe grupuri de rezistențe de pornire, pentru folosirea la încălzire a efectului electrocaloric din timpul demarării.

Sistemul de frânare. Ansamblul de frâne independente (și felul acestor frâne), cu cari trebuie

să fie echipat un vagon de tramvai. În general se folosesc frâna de mână, frâna pneumatică (numită și pneumatică mecanică), frâna electrică și frâna electromagnetă (cu patină pe șină). Majoritatea vagoanelor sunt înzestrate cu primele trei sisteme de frânare, dintre cari frâna de serviciu e cea pneumatică sau cea electrică; la cele mai multe tramvaie actuale, frâna electrică se folosește ca frână de siguranță (numită și frână de urgență), (de ex. pentru evitarea unui accident), iar cea manuală se folosește ca frână de rezervă (de ex. când presiunea aerului din conducte e insuficientă pentru frânare, când se fac manevre pentru cuplări și decuplări de vagoane, când trebuie efectuate opriri în pantă sau frânări prelungite).

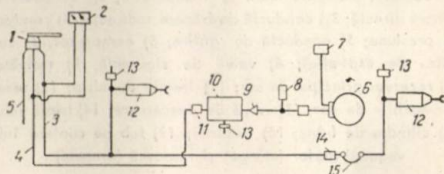
Condițiunile pe cari trebuie să le satisfacă frânele sunt: să oprească vagonul pe o distanță cât mai mică (într'un timp cât mai scurt); să realizeze oprirea, fără șocuri și fără smucituri; să nu provoace patinarea roților pe șină (nici la cea mai energică frânare) — și să frâneze simultan toate vagoanele unui tren. După modul cum se produce forța care pune în mișcare timonieria, sistemele de frânare se pot împărți în frâne mecanice și frâne electrice.

Frânele mecanice (v.), adică cele manuale și pneumatice sunt: frâne cu sabot (v. fig. X), la cari frânarea se obține prin frecarea uscată dintre doi saboți și bandajul roții; frâne cu tobă, la cari frânarea se obține prin frecarea uscată



X. Frână cu saboți (săgeata indică sensul de slăbire a frânei). 1-2-3-4-5-6) lanțul cinematic al pârghilor de acționare; 7) sabot; 8) roată; 9) resort de rapel.

dintre doi saboți sau o panglică și o tobă solidarizată cu osia; frâne cu disc, la cari frânarea se obține prin frecarea dintre două plăci de presiune și un disc solidarizat cu osia. Frânele

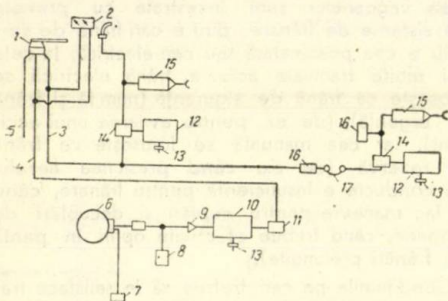


XI. Schema frânei pneumatice directe.

1) robinetul manipulantului; 2) manometru; 3) conductă de frânare; 4) conductă de presiune; 5) conductă de golire a instalației; 6) compresor; 7) sorb (filtru de aspirații); 8) valvă de siguranță; 9) rezervor de aer; 10) regulator de presiune; 11) cilindrul de frână; 12) valvă de descărcare; 13) robinet; 14) tub de cuplare între vagonul motor (stânga) și remorcă (dreapta).

pneumatice, cu comandă pneumatică și transmisie mecanică, pot fi directe, indirecte sau mixte.

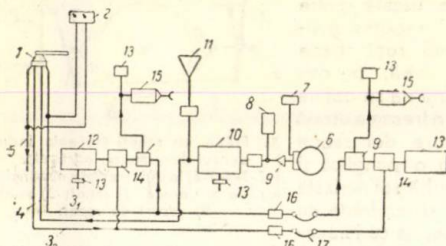
— Frâna directă cuprinde robinetul de frână (numit și robinetul manipulantului), compresorul de aer, rezervoare de aer, conducte, cilindri de frână și alte organe auxiliare (v. fig. XI). În stare



XII. Schema frânei pneumatice indirecte.

1) robinetul manipulantului; 2) manometru; 3) conductă de frânare; 4) conductă de presiune; 5) conductă de golire; 6) compresor; 7) sorb (filtru de aspirație); 8) valvă de siguranță; 9) reținător; 10) rezervor principal de aer; 11) regulator de presiune; 12) rezervor auxiliar de aer; 13) valvă de descărcare; 14) triplă valvă; 15) cilindru de frână; 16) robinet; 17) tub de cuplare între vagonul motor (stânga) și remorcă (dreapta).

defrânată, conducta de legătură dintre vagoane e fără presiune; pentru frânare se comandă, dela

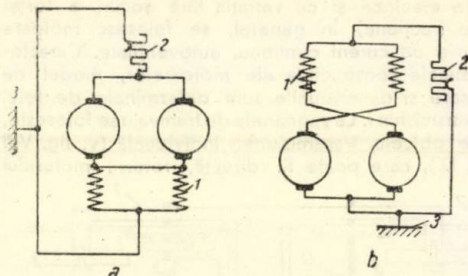


XIII. Schema frânei pneumatice mixte.

1) robinetul manipulantului; 2) manometru; 3) conductă de frânare directă; 3a) conductă de frânare indirectă; 4) conductă de presiune; 5) conductă de golire; 6) compresor; 7) sorb (filtru de aspirație); 8) valvă de siguranță; 9) reținător; 10) rezervor principal de aer; 11) tremie de nisip; 12) rezervor auxiliar de aer; 13) valvă de descărcare; 14) triplă valvă; 15) cilindru de frână; 16) robinet; 17) tub de cuplare între vagonul-motor (stânga) și remorcă (dreapta).

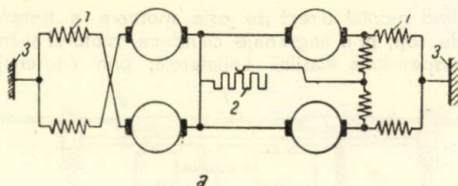
robinetul de frână, trecerea aerului sub presiune din rezervorul de aer în cilindru de frână, prin conducta de legătură. Această frână prezintă des-avantajul că nu se frânează simultan toate vagoanele unui tren și că nu se frânează niciun vagon, dacă conducta de legătură e întreruptă. — Frâna indirectă (automată) cuprinde, în plus față de frâna directă, tripla valvă și rezervoare de aer auxiliare (v. fig. XII). În stare defrânată, conducta de legătură dintre vagoane e sub presiune (la pre-

siunea din rezervorul principal de aer); frânarea se obține dela robinetul de frână sau la ruperea



XIV. Schema frânei reostatice a unui vagon cu două motoare. a) cu fir de egalizare; b) cu excitatie încrucișată; 1) excitatie; 2) reostat; 3) pământ.

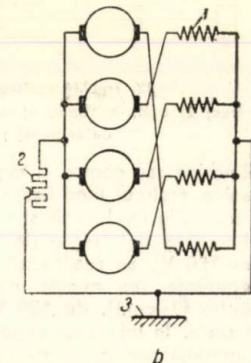
conductei de legătură, prin producerea unei de-presiuni în tripla valvă, care comandă (automat) trecerea aerului din rezervorul auxiliar în cilindru de frână. — Frâna mixtă cuprinde toate organele



comune și diferite ale frânelor directă și indirectă (v. fig. XIII), dăci două conducte de legătură între vagoane: una fără presiune și alta sub presiune (conducta generală) în stare defrânată. Instalațiile de frână mixtă se deosebesc după tipul triplei valve. La tramele se folosește, în general, frâna directă ca frână de serviciu, iar cea indirectă, ca frână de siguranță.

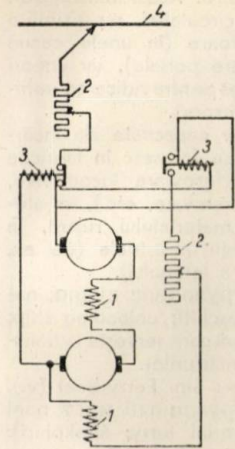
Frânele electrice (v. sunt: frâne reostatice (v. fig. XIV și XV), la cari frânarea se obține

lăsând electromotorul să debiteze ca generator pe un reostat; frâne în scurt-circuit, la cari frânarea se obține prin scurt-circuitarea inductorului (pentru oprirea vagonului e necesară altă frână); frâne cu recuperare (v. fig. XVI), la cari frânarea se obține prin transformarea energiei cinetice a vagonului în energie electrică, lăsând

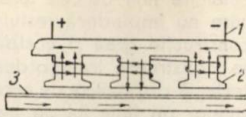


XV. Schema frânei reostatice a unui vagon cu patru motoare. a) schemă ciclică; b) schemă combinată; 1) excitatie; 2) reostat; 3) pământ.

electromotorul să debiteze ca generator pe rețeaua electrică de alimentare; frâne electromag-



XVI. Schema frânei cu recuperare a unui vagon cu două motoare.
1) excitatie; 2) reostat; 3) releu; 4) fir aerian.



XVII. Schema frânei electromagnetice, cu patină (sabot).
1) circuit electric; 2) patină; 3) șină.

netice (v. fig. XVII), la cari frânarea se obține prin acțiunea curenților electrici induși de o electropatină în șină.

Anexele vagonului: Acestea sunt diferitele accesorii, ca dispozitivele de tracțiune, tamponale, scuturile de protecțiune ale părților rulante, dispozitivele de salvare automată (sub vagon), aparatul de nisip, grăajul de protecțiune dintre vagoane, clopotul de picior al manipulantului, dispozitivele de ventilație, aparatul de radio-recepție, etc.

1. **Tramvaiu aerian** [воздушный трамвай; tramway aérien; Schwebebahn; elevated (suspension) railway; függő vasút]: Tramvaiu care rulează pe o șină aeriană, de care e suspendat. Șina aeriană servește atât la susținere și ghidare, cât și la alimentarea cu curent electric a motoarelor electrice ale tramvaiului.

2. **Tramvaiu, linie de ~** [трамвайная колей; ligne de tramway; Straßenbahngleise; tramrail, tramline; közutí vasúti vonal]. Transp.: Ansamblu format din calea de rulare, pe care circulă tramvaiul, și din firul aerian, prin cari acesta primește energie electrică. Totalitatea căilor de rulare dintr'un centru populat (de ex. oraș) alcătuiesc rețeaua de șine, iar complexul de fire aeriene, rețeaua de contact.

Rețeaua de șine se compune din fundație și din suprastructură, care cuprinde șine, antretoaze, eclise, macazuri, încrucișări și partea pavată a străzii. Pe străzile orașelor se folosesc șinele cu șanț (tip „Phoenix”), îngropate în pavaj și sudate în capete (electric sau aluminotermic); pe liniile suburbane se poate folosi șină de cale ferată (tip „Vignole”). La capetele de linii și în anumite puncte mai importante se amenajează bucle de întoarcere, pentru staționarea, controlul sau degajarea vagoanelor defectate (cari ar bloca circulația).

Rețeaua de contact servește la alimentarea tramvaielor cu energie electrică, aproape exclusiv în curent continuu și, de obicei, la tensiunea de 550 V sau 750 V (uneori se folosesc tensiuni mai

înalte). Curentul continuu, obținut prin redresarea curentului alternativ în substațiuni, trece în rețeaua de contact, prin cabluri subterane sau aeriene; dela firul de contact, curentul e cules de priza de curent a vagonului (arc de contact, trolley sau pantograf) și ajunge la motoarele de tracțiune, iar apoi revine la substațiune prin șină și prin cablurile de întoarcere.

3. **Tranchel** [кранец; défense; Fender, Freihalter, Schutzballen; fender; ütköző]. Nav. m.: Bară scurtă de lemn rotund, înfășurată cu parâma, folosită la acostări, pentru a feri corpul navei de izbituri. Pe navele ușoare, cu bordaj subțire, trancheții sunt dispuși astfel, încât să se sprijine pe părțile rezistente ale cocei (de ex. pe coastele navei, pe copastii, brâu, etc.). La o staționare mai îndelungată a navei lângă cheu sau lângă o altă navă se folosesc trancheții orizontali (mai lungi), dispuși la linia de plutire sau aproape de linia de plutire (nava rezemându-se astfel pe una sau pe mai multe coaste). În unele porturi, au și cheurile astfel de apărători.

4. **Tranșă** [шнит; tranche; Schnitt; edge; metszés]. Arte gr.: Fiecare dintre fețele laterale, transversale pe filele unei cărți, cari rezultă prin tăierea transversală a filelor. Uneori, după tăiere, tranșa se colorează, se marmorează sau se aurește. — Sin. Șnit.

5. **Transbordare** [пересадка, перегрузка; transbordement; Umsteigen, Umladen; transhtipment; átszállás, átrakás]. Transp.: Operațiune de trafic curentă sau ocazională, care consistă în a trece călătorii sau mărfurile dintr'un vehicul în altul.

Transbordările ca operațiuni curente se efectuează în traficul combinat cu diferite sisteme de transport. În traficul de călători combinat, transbordările se fac între transportul pe calea ferată și transportul fluvial de călători, între transportul pe calea ferată și transportul rutier, etc. — În traficul de mărfuri, transbordările se fac între două căi ferate de ecartamente diferite, între transporturi feroviare și rutiere, între transporturi feroviare sau rutiere și transporturi navale.

Transbordările se efectuează cu: macarale; poduri de transbordare; platforme; trecerea cutiilor de vagon de pe un aparat de rulare de un ecartament pe un aparat de rulare de ecartament diferit (operațiune folosită la transbordarea vagoanelor pe boghiuri); trecerea vagoanelor de cale ferată pe platforme rulante, cari transportă vagonul pe șosele, la destinație; containere pentru mărfuri în pachete sau în baloturi; etc.

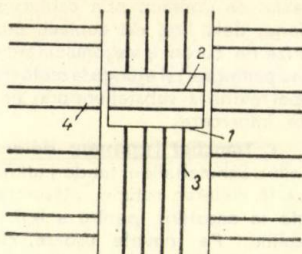
Transbordările ocazionale se efectuează la întreprinderi de circulație sau la defectări de vehicule, de obicei prin mijloace improvizate, cari stau la dispoziție.

6. **Transbordare, instalație de ~**. V. Transportor deplasabil.

7. **Transbordor** [перепрыточная тележка; transbordeur; Schiebebühne; traverser, railway traverse-table; átrakóhid]. 1. Tehn.: Platformă deplasabilă pe șine, echipată cu linii de cale ferată orien-

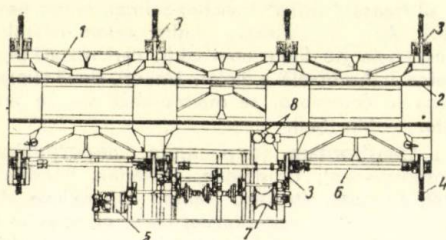
tate perpendicular pe direcția sa de deplasare, și care servește la mutarea vehiculelor feroviare de pe o linie pe alta (liniile fiind paralele).

Transbordorul (fig. I și II) e constituit din următoarele părți: scheletul metalic (platforma), pe care sunt montate șinele liniei de transport; roțile de rulare, prin intermediul cărora se deplasează pe linia de rulare (pe șine); echipamentul mecanic sau electromecanic, de antrenare și de manevră. Transbordarele pot fi mișcate pe linia de ru-



I. Schema de instalare a unui transbordor.

- 1) transbordor; 2) linie de transport;
3) linie de rulare; 4) cale terestră de servită de transbordor.



II. Transbordor.

- 1) barele scheletului transbordorului; 2) linia de transport pentru vehicule, pe transbordor; 3) roți de rulare; 4) linie de rulare a transbordorului; 5) motor electric de antrenare; 6) arbore principal de transmisie; 7) trolul de manevră; 8) role pentru ghidarea cablului de manevră.

lare, prin acționare manuală sau mecanizată (în general, cu motor electric), viteza de deplasare fiind în ultimul caz de 30...60 m/min. Pentru îmbarcarea pe transbordor, vehiculele sunt trase cu un trol, acționat de cele mai multe ori electric, viteza de manevrare a acestora fiind de 15...20 m/min.

Se deosebesc transbordare îngropate, semi-îngropate și neîngropate. — La transbordorul îngropat, linia de rulare e așezată pe fundul unui canal (la adâncimea de cca 50 cm), astfel încât linia sa de transport să fie la același nivel cu celelalte linii de cale terestre. Acest transbordor e constructiv mai convenabil și permite îmbarcarea comodă a vehiculelor, dar pentru traversarea canalului liniei de rulare sunt necesare poduri (de obicei cu manevrare automată), ceea ce îngreunează circulația în ansamblul ei. — La transbordorul semiîngropat, canalul liniei de rulare e mai puțin adânc, dar îmbarcarea vehiculelor e destul de comodă. Adâncimea mică a canalului reclamă folosirea unor rampe simple pentru traversarea lui. — La transbordorul ne-

îngropat, linia de rulare e la nivelul scului, astfel încât linia lui de transport e mai sus decât celelalte linii de cale terestre. Acest transbordor, care nu împiedică restul circulației, reprezintă o construcție grea și costisitoare (în unele cazuri se construiesc transbordare portale), iar uneori reclamă dispozitive de acces pentru ridicarea vehiculelor pe linia lui de transport.

Transbordarele, a căror capacitate de încărcare poate atinge 400 t, se folosesc în fabricile constructoare de vehicule feroviare (locomotive, vagoane de cale ferată, tramvaie, etc.), în atelierele de reparație a materialului rulant, în depouri sau în alte instalații industriale (de ex. în ateliere de prelucrare a lemnului).

1. **Transbordor** [перегрузочное судно; navire transbordeur; Umladeschiff; unloading ship; átrakóhajó]. 2. *Nav. m.*: Navă care servește la transbordarea călătorilor și a mărfurilor.

3. **Transbordor, bac** ~: Sin. Ferry-boat (v.).

4. **~, pod** ~ [перегрузочный мост; pont transbordeur; Laufkran; aerial ferry; átrakóhid]: Platformă suspendată, prin cabluri, de o construcție metalică, și care servește la trecerea călătorilor sau a mărfurilor peste un curs de apă.

4. **Transbordor de cale ferată în galerii de mină** [железнодорожная перегрузочная тележка в галлерейх; transbordeur de chemin de fer dans les galeries de mine; Umlader in Minengängen; wagon changer in galleries of a mine; vasuti vonal átrakóhid bányatárnákban]. Mine: Transbordor ușor transportabil, folosit în galeriile de mină, în special la înaintările rapide ale galeriilor, pentru a schimba repede vagonetul încărcat cu unul gol, la mașina de încărcat roca împușcată. Un tip de transbordor, aplicabil direct pe cale, e constituit din două rame metalice articulate între ele, ale căror șine sunt dispuse perpendicular pe liniile vagonetului și alcătuiesc calea de rulare a unui cărucior cu roți. Fiecare ramă se așază pe câte o linie, iar vagonetul e urcat pe căruciorul cu roți (cu ajutorul unor plane înclinate) și e transbordat cu căruciorul de pe o linie pe alta.

Pentru galeriile cu o singură cale de rulare se folosesc uneori macarale constituite dintr'un cilindru pneumatic fixat pe un cărucior care rulează pe o grindă de oțel prinsă de stâlpii galeriei, perpendicular pe axa ei. Un vagonet încărcat, care trebuie atașat la sfârșitul unui tren de vagoane, se așază de tija pistonului cilindrului, e ridicat de pe șine și transbordat lateral, ca să permită trecerea unui alt vagonet sau manevra unei garnituri de vagoane. Altele se folosesc macarale cari ridică vagonetul la tavan, ca să permită manevra unui alt vagonet sau a unei garnituri de vagoane sub el.

5. **Transcalculare** [транскалькуляция, преобразование; transcalculation; Umformung, Umrechnung; transformation of coordinates; átszámítás]. *Topog.*: Calculul coordonatelor rectangulare ale punctelor de pe teren, trecând dela un sistem de axe de coordonate la un alt sistem de

axe, cu ajutorul formulelor de transformare cunoscute din Geometria analitică:

$$\begin{aligned} \text{(I)} \quad & \begin{cases} X = x_0 + x/k \cos \alpha - y/k \sin \alpha \\ Y = y_0 + y/k \cos \alpha + x/k \sin \alpha \end{cases} \\ \text{(II)} \quad & \begin{cases} X = x_0 + x/k \cos \alpha + y/k \sin \alpha \\ Y = y_0 + y/k \cos \alpha - x/k \sin \alpha \end{cases} \end{aligned}$$

unde X, Y reprezintă valorile noilor coordonate transcalulate; x, y sunt valorile vechilor coordonate ale punctelor corespunzătoare; k e coeficientul de etalonare sau câtu dintre valoarea lungimii bazei de racordare, calculată din noile coordonate, prin valoarea dedusă din vechile coordonate; α e unghiul de rotire a axelor, obținut prin diferența dintre orientările nouă și veche ale bazei de racordare, iar x_0, y_0 sunt coordonatele originii vechilor axe de coordonate în raport cu noul sistem de axe. Prima pereche de formule (I) se aplică dacă valoarea orientării, dedusă din vechile coordonate, e mai mare decât cea dedusă din noile coordonate, deci când rotirea axelor se face în sens invers mersului acelor unui ceasornic (dela Est la Vest sau dela dreapta la stânga); cea de a doua pereche de formule (II) se aplică pentru cealaltă alternativă (când rotirea axelor se face în sensul mersului acelor unui ceasornic).

Transcalcularea se face cu ajutorul mașinii normale de calculat, după un procedeu adaptat naturii transcalculărilor (cadastrale, geodezice, topografice, etc.).

1. Transcalculare cadastrală [кадастровая транскалькуляция; transcalculation cadastrale; Umrechnung in Kataster; transformation of cadastral coordinates; kataszteri átszámítás]: Transcalculare a vechilor coordonate locale ale punctelor cadastrale sau ale punctelor lucrărilor agrare în coordonate noi, aparținând sistemului general al Cadastrului; transcalcularea se efectuează pe baza cunoașterii sau a determinării, la un număr restrâns de puncte (minimum patru), atât a coordonatelor vechi, cât și a celor noi; formulele de transcalculare sunt cele de sub Transcalculare (v.) și se aplică la totalitatea punctelor cari gravitează în jurul punctelor dublu determinate.

2. Transconductanță: Sin. Pantă de tub electronic (v.).

3. Transcristalizare [транскристаллизация; transcrystallisation; Transkristallisation; transcrystallization; átkristályosodás]. Metl.: Fenomenul de îmbinare a cristalelor columnare din zona medie de cristalizare primară (v. sub Structură de cristalizare primară), datorită tendinței de creștere laterală a acestora. Cristalele columnare cresc atât în direcția fluxului termic, în care pierd căldură, deci perpendicular pe suprafețele de răcire (de ex. pe pereții unei lingotiere), cât și lateral, până când se ating între ele. Datorită tendinței de creștere laterală, după ce se ating cristalele columnare, se formează o zonă foarte compactă, dar fisurabilă, de-a-lungul liniilor de contact ale cristalelor, numită zonă de transcristalizare. În cazul unei viteze mari de răcire, transcristalizarea poate

fi totală, adică poate cuprinde și zona interioară de cristalizare primară a lingoului, care la răcire lentă e constituită din cristale echiaxe.

4. Transductor [транслятор, передатчик; transducteur; Übertrager; transmitter; transduktor].

1. Eft.: Ansamblu de aparate sau de elemente, capabil de a transmite putere dela un sistem mecanic, electromagnetic sau acustic, la un alt sistem. Transductorul se numește activ, dacă există în el o sursă de energie; altfel, transductorul se numește pasiv. — Cuadripolul electric, de exemplu, e un transductor electromagnetic.

2. ~ [преобразователь; capteur; Geber; transducer; transduktor]: 2. Dispozitiv care transformă univoc o mărime neelectrică, de măsurat, într-o mărime electrică, în aparatele pentru măsurarea pe cale electrică a mărimilor neelectrice sau în dispozitivele de automatizare a producției.

Transductoarele parametrice modifică un parametru electric al unui corp solid sau lichid: rezistență, capacitate, etc., sub acțiunea unei mărimi neelectrice; prin intermediul transductorului, mărimea neelectrică de măsurat poate modifica deci regimul electric al unui circuit de măsură (punte, compensator, etc.), obținându-se la ieșirea acestuia o tensiune care reprezintă univoc mărimea neelectrică măsurată; această tensiune poate fi măsurată cu un instrument indicator, gradat direct în unități de măsură ale mărimii neelectrice; — în transductoarele generatoare se produce o tensiune electrică la variația mărimii neelectrice de măsurat.

Transductoarele prezintă numeroase avantaje față de alte dispozitive de măsurare: Sensibilitate mare, datorită posibilității de amplificare, pe cale electronică, a mărimii electrice dela ieșire; precizie mare, asigurată de instrumentele indicatoare electrice; lipsă de inerție, specifică aparatului electrice și mai ales celei electronice, în care nu intervin, în general, piese în mișcare; posibilitate ușoară de telemăsurare și centralizare a măsurărilor; posibilitate ușoară de comandă a unei acționări electrice, deci de înglobare într-o instalație de reglaj automat.

Transductoarele pot fi clasificate după mărimea neelectrică pe care o măsoară, adică după domeniul de aplicație (în transductoare pentru măsurarea mărimilor mecanice, termice, chimice, etc.) și după principiul de funcționare, adică după mărimea electrică pe care o dau la ieșire, ca rezultat al transformării unei anumite mărimi neelectrice (din acest ultim punct de vedere, se deosebesc transductoare parametrice, și energetice sau generatoare).

În transductoarele parametrice, mărimea neelectrică e transdusă într'un parametru electric ca: rezistență, inductivitate sau capacitate, parametru pentru măsurarea căruia e necesară o sursă de tensiune auxiliară; ele se subîmpart, după parametrul care se modifică în urma variației mărimii neelectrice, în transductoare rezistive, inductive și capacitive. — În transductoarele energetice sau generatoare, mărimea neelectrică e transformată direct într-o tensiune electromotoare.

Ele se subîmpart, după fenomenul fizic care stă la baza generării tensiunii pe care o dau la ieșire, în transductoare electrodinamice, electrochimice, termoelectrice, piezoelectrice.

■ Dacă N e mărimea neelectrică de măsurat, și M e mărimea electrică dată de transductor în urmă transformării, caracteristicile principale ale transductorului sunt: funcțiunea de transformare

$$M=f(N), \text{ sensibilitatea } S=\frac{\Delta M/M}{\Delta N/N} \text{ și puterea se-}$$

paratoare P ; aceasta din urmă caracterizează posibilitățile și condițiunile de folosire a transductorului. Ea indică gama de variație a mărimii neelectrice în care eroarea de măsură a transductorului rămâne între limitele admisibile.

Mărimea electrică dela ieșirea transductorului nu depinde, în general, numai de mărimea neelectrică măsurată, ci și de alte proprietăți fizice sau chimice ale obiectului supus măsurării, cum și de proprietățile fizice ale mediului înconjurător. De exemplu, rezistența unui fir metalic depinde nu numai de deformațiile mecanice ale firului sub acțiunea unei forțe care provoacă o tensiune mecanică în fir, ci și de temperatura mediului. Dacă se folosește dependența rezistenței firului de deformație, pentru măsurarea acesteia din urmă trebuie redusă la minimum și chiar compensată variația rezistenței firului cu temperatura mediului înconjurător. Aceasta se realizează, de o parte, prin construcția adecvată a transductorului, și de altă parte, prin folosirea unui circuit de măsură care permite compensarea efectelor parazite asupra mărimii electrice date de transductor. —

Transductoarele rezistive pentru măsurarea mărimilor mecanice se împart în transductoare reostatice, cu contact, cu pastile de cărbune, și în tensometre cu fir.

Transductoarele reostatice sunt constituite dintr'un reostat al cărui cursor se deplasează sub acțiunea mărimii neelectrice. Se folosesc pentru măsurarea deplasărilor lineare relativ mari (dela ordinul milimetrilor la ordinul decimetrilor), sau pentru măsurarea deplasărilor unghiulare relativ mari (de ordinul gradelor sau al zecilor de grade). Pentru măsurarea deplasărilor lineare, ele se construiesc sub forma de reostate lineare, iar pentru măsurarea deplasărilor unghiulare, sub forma de reostate circulare. Se folosesc, de exemplu, pentru măsurarea nivelului lichidului în rezervoare, sau pentru măsurarea unghiului de rotație al unui instrument cu ac indicator. Ele pot fi introduse în orice circuit de măsură, pentru măsurarea rezistenței. Se folosesc ca potențio-metre, aplicându-li-se o tensiune la borne constantă și obținându-se între unul din capete și cursor o tensiune proporțională cu deplasarea cursorului.

Transductoarele cu contact constituie o variantă simplificată a transductoarelor reostatice: Mărimea mecanică de măsurat comandă circuitul electric prin închiderea și deschiderea unor contacte. În cazul controlului dimensiunilor unor piese, se folosesc de cele mai multe ori transductoarele cu două perechi de contacte, corespunzând

limitelor superioară și inferioară admise pentru aceste dimensiuni. Permite să se discrimineze variații de dimensiune de ordinul micronului.

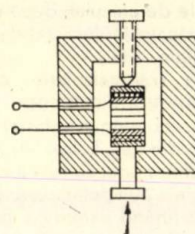
Tensometrele cu fir sunt constituite dintr'un fir metalic subțire (cu diametrul de 20...50 μ), de mare rezistivitate, lipit în zig-zag pe o foiță de hârtie cu lungimea de 5...50 mm și cu lățimea de 3...20 mm. Se lipește pe suprafața piesei a cărei deformație trebuie măsurată, în așa fel, încât firul lor de rezistență să urmărească deformațiile piesei, variindu-și lungimea, deci și rezistența, proporțional cu deformația piesei. Pentru ca variația temperaturii piesei să nu influențeze măsurarea, firul se alege dintr'un material cu coeficient de temperatură mic (de ex. constant), iar măsurarea variației rezistenței transductorului se face într'o punte Wheatstone, în care se mai introduce cel puțin un transductor, pentru compensarea variațiilor de temperatură.

Cu tensometrele cu fir se pot măsura deformații relative cuprinse între $1/10^6$ și $1/10^2$, cu o bună precizie. Montate pe dispozitive speciale de altfel destul de simple, ele pot fi folosite și pentru măsurarea deplasărilor sau a forțelor — atât statice, cât și dinamice. —

Transductoarele cu pastile de cărbune traduc deformația sau forța într'o variație de rezistență; sunt constituite dintr'o coloană de pastile de cărbune, introdusă într'un suport adecvat (v. fig. 1). Rezistența de contact dintre pastilele alăturate și deci rezistența prezentată de întreaga coloană, scade la creșterea presiunii de contact. Această variație de rezistență poate fi folosită pentru măsurare. Deși sensibilitatea acestor transductoare e mai mare decât cea a tensometrelor cu fir, indicațiile lor sunt mult mai puțin precise, datorită efectului de isterезă mecanică și influenței mari a temperaturii.

Termorezistențele sunt conductoare sau semiconductoare cari, fiind străbătute de un curent electric, fac un important schimb de căldură cu mediul înconjurător. Rezistența lor electrică depinde de temperatura conductorului, temperatură care, la rândul ei, se stabilește la o valoare corespunzătoare schimbului staționar de căldură dintre conductor și mediu. Acest schimb dintre conductor și mediul înconjurător se face prin convecție, prin conducție termică sau prin radiație.

Diferenții parametri geometrici și fizici ai transductorului și diferenții factori cari caracterizează mediul lichid sau gazos înconjurător, cum sunt viteza de mișcare față de transductor, conductibilitatea termică, presiunea, temperatura, influențează intensitatea schimbului de căldură dintre conductor și mediu — și influențează deci direct temperatura și, odată cu aceasta, indirect, rezistența conductorului. Dependența rezistenței conductorului



1. Transductor cu pastile de grafit.

rului de factorii indicați mai sus poate fi folosită, deci, pentru măsurarea mărimilor care caracterizează mediul lichid sau gazos. Pentru aceasta e suficient ca, printr-o construcție adecvată a transductorului, să se reducă la minimum, eventual să se și compenseze, influența tuturor factorilor asupra rezistenței transductorului, afară de a celui care trebuie măsurat. Deci, trebuie ca schimbul de căldură dintre transductor și mediu, adică și temperatura transductorului, să fie determinată în principal de mărimea de măsurat (de ex. de viteza mediului, de presiune, de temperatură, etc.). Prin aceasta, măsurarea mărimii neelectrice respective e redusă la măsurarea unei rezistențe electrice.

Termorezistențele se folosesc în termooanemometre, în analizoare electrice de gaze, vacuummetre cu termorezistență și termometre cu rezistență. — Termooanemometrele se folosesc pentru măsurarea vitezei gazelor. Ele sunt construite, astfel încât convecția să fie forma principală de cedare către mediu a căldurii dezvoltate de curentul electric care străbate firul. Cum coeficientul de transmisie a căldurii prin convecție depinde în principal de viteza gazului față de fir, se stabilește o legătură directă între temperatura, deci rezistența firului, și viteza gazului față de fir. Termooanemometrele se folosesc în special pentru măsurarea viteselor mici, sub cca 20...25 m/s; ele sunt foarte utile pentru măsurarea fluctuațiilor de viteză în gaze.

Transductoarele analizoarelor electrice de gaze funcționează, în general, tot pe principiul termorezistenței. Ele sunt construite astfel, încât favorizează în special cedarea de căldură prin conducția termică a gazului. Pentru un amestec de gaze care are conductivități termice diferite, conductivitatea termică rezultantă depinde de proporția gazelor din amestec; temperatura, deci rezistența transductorului, poate indica deci proporția de gaze. Astfel de transductoare se folosesc, de exemplu, pentru analiza procentului de bioxid de carbon în gazele de ardere.

Vacuummetrele cu termorezistență se bazează și pe variația conductibilității termice a gazelor cu presiunea, la presiuni foarte joase. Vacuummetrele de acest tip sunt utile pentru măsurarea presiunilor între 10 și 10^{-3} mm coloană de mercur.

La termometrele cu rezistență, spre deosebire de termorezistențele indicate mai sus, — la cari curentul care le străbate e suficient de intens pentru a asigura transductorului o temperatură sensibil mai înaltă decât cea a mediului înconjurător, — se caută să se reducă la minimum curentul de măsură, pentru ca termometrul să urmărească cât mai fidel temperatura mediului. Materialele folosite în termometrele cu rezistență de tip industrial sunt, fie de tipul termistoarelor, fie metalele pure cari asigură un destul de mare coeficient de temperatură al rezistenței electrice.

Pentru termistoare se pot obține ușor variații de rezistență de $-3 \dots -4\%/^{\circ}$, adică de cca 10 ori mai mari decât la metalele pure, în gama

de temperatură $-100 \dots +120^{\circ}$. În schimb, reproductibilitatea caracteristicilor termistoarelor e mică.

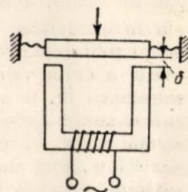
La metalele pure, deși coeficientul de temperatură a rezistenței e de numai $4 \dots 6\%/^{\circ}$, caracteristicile sunt reproductibile mult mai sigur. Dintre metale, se folosesc cel mai des în termometrele cu rezistență: cuprul (pentru temperaturi până la $100 \dots 150^{\circ}$), nichelul (temperaturi până la $250 \dots 300^{\circ}$) și platina (până la $700 \dots 800^{\circ}$). Temperatura maximă care se măsoară curent cu termometrele cu rezistență nu depășește însă cca 500° . Pentru temperaturi mai înalte devin mai comode termocuplele. Temperatura minimă care se măsoară cu termometrele cu rezistență e de $5 \dots 10^{\circ}\text{K}$. Realizarea constructivă a termometrelor cu rezistență e foarte variată. Ea trebuie, de o parte, să asigure protecțiunea mecanică și chimică a termorezistenței, iar de altă parte, să nu mărească prea mult inerția termică a transductorului.

În transductoarele rezistive electrolitice, rezistența electrică a unei celule constituite dintr'un vas care conține doi electrozi și e umplut cu soluția apoasă a unui electrolit depinde, în principal, de concentrația soluției respective. Deci se pot măsura concentrațiile soluțiilor, în special la concentrații slabe (sub cca $50 \dots 100$ mg/l), cu ajutorul unor transductoare electrolitice rezistive, construite pe principiul arătat. Pentru a evita producerea electrolizei în timpul măsurării, rezistența celulei se măsoară cu o punte de curent alternativ. Se iau măsuri și pentru a compensa variația rezistenței celulei cu temperatura și pentru a echilibra și capacitatea electrică a celulei. Transductoarele rezistive electrolitice sunt comode pentru măsurarea concentrației soluțiilor în procesele de fabricație, pentru că se pot intercala pe o conductă, permițând măsurarea continuă a concentrației.

O variantă a transductoarelor rezistive electrolitice o constituie transductoarele pentru măsurarea umidității unor materiale cari, în stare uscată, sunt rele conductoare din punctul de vedere electric (lemn, hârtie, țesături). Aceste transductoare se bazează pe scăderea rezistenței electrice a materialelor, la creșterea umidității acestora. Pentru măsurarea continuă a umidității unei benzi (de ex. de hârtie sau de țesătură), derulate continuu, electrozii se realizează sub forma a două role, printre cari trece materialul. —

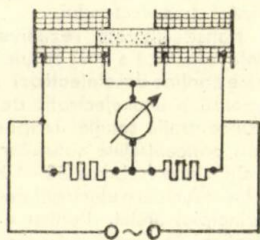
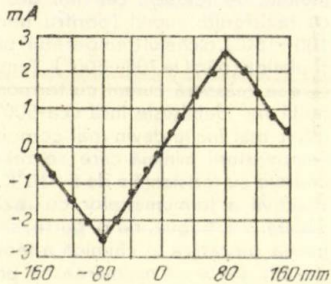
Transductoarele inductive traduc variația mărimii neelectrice de măsurat într-o variație de inductivitate. Ele pot fi cu întrefier variabil sau magnetoelastice.

Transductoarele inductive cu întrefier variabil (v. fig. II) se folosesc pentru măsurarea deplasărilor mici (ca micrometre) sau a forțelor (ca dinamometre). Datorită variației întrefierului, de regulă de $0,2 \dots 1$ mm, variază reluctanța circuitului magnetic al transductorului și, deci, inductivitatea bo-



II. Transductor cu variația întrefierului.

binei înfășurate pe miezul magnetic respectiv. Variația acesteia se poate pune în evidență într-o punte de curent alternativ. Pentru a obține o mai bună linearitate și sensibilitate, cum și pentru a compensa influențele parazite (de ex. a temperaturii), transductoarele inductive se construiesc sub formă diferențială (v. fig. III). Cu astfel de transductoare se pot măsura ușor deplasări de ordinul fracțiunilor de micron.



III. Variația curentului într'un aparat de măsură cu transductor cu inductivitate diferențială și circuit magnetic deschis, în funcțiune de deplasarea miezului.

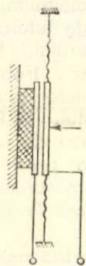
O variantă se bazează pe modificarea inductivității mutuale dintre două bobine, deci a tensiunii induse în bobina secundară, la variația înțierului circuitului feromagnetic comun celor două bobine. Datorită masei lor inerte relativ mari, transductoarele inductive indicate mai sus nu sunt potrivite pentru măsurarea unor deplasări sau a unor forțe care variază repede. Ele asigură, în schimb, precizia maximă în măsurarea unor deplasări foarte mici, care variază lent. —

Transductoarele magnetoelastice se bazează pe variația cu tensiunea mecanică a permeabilității magnetice a corpurilor feromagnetice. Odată cu variația permeabilității miezului, variază și inductivitatea bobinei înfășurate pe miez. Cele mai bune rezultate le dă permalloy-ul, cu un conținut de nichel între 45 și 78%.

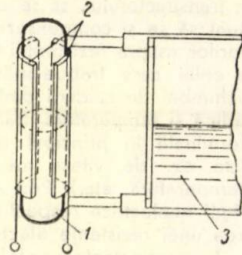
Transductoarele magnetoelastice se folosesc pentru măsurarea forțelor sau a deformațiilor, în special a celor variabile în timp. Față de tensometrele cu fir, tensometrele magnetoelastice asigură o sensibilitate relativă de cel mult 100 de ori mai mare. În schimb, datorită influenței temperaturii și, mai ales, isterzei mecanice și îmbătrânirii, precizia lor e de numai 3...5%. —

Transductoarele capacitive, foarte diverse ca formă constructivă, se împart în transductoare cu variația distanței dintre electrozi, cu variația suprafeței electrozilor și cu variația permittivității. Considerând că un condensator plan are o capacitate electrică proporțională cu produsul dintre permittivitatea ϵ și aria simplă a electrozilor și invers proporțională cu distanța dintre electrozi, se observă că variația capacității transductorului poate

măsura: o variație a distanței dintre electrozi — deci o deplasare, o neuniformitate a grosimii unui material, sau, indirect, o forță, o presiune (v. fig. IV);

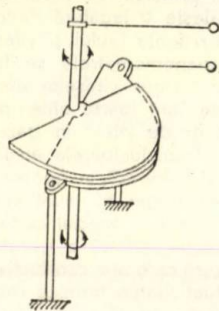


IV. Schema de principiu a transductorului cu variația distanței dintre electrozi.

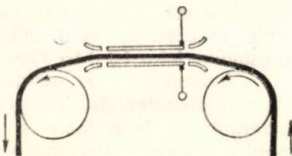


V. Schema de principiu a transductorului cu variația dielectricului dintre armături. 1) tub; 2) condensator; 3) dielectric lichid.

o variație a permittivității — deci o variație de compoziție chimică sau de proporții într'un amestec de substanțe, o variație de umiditate sau de nivel de lichid într'un vas, etc. (v. fig. V); sau o variație de suprafață a electrozilor — deci o deplasare, o vibrație, o rotație, etc. (v. fig. VI). Se folosesc și transductoare pentru măsurarea grosimii dielectricului dintre armături (v. fig. VII). Cu circuitele electrice adecvate, se pot măsura variații de capacitate ale transductorului, de sutimi, și chiar de miimi de picofarad, corespunzând unor variații foarte mici ale mărimii neelectrice de măsurat. —



VI. Schema de principiu a transductorului cu variația dimensiunii electrozilor.



VII. Schema de principiu a transductorului unui aparat pentru măsurarea grosimii dielectricului.

Celulele fotoelectrice pot fi celule fotoemise, cu vid sau cu gaz, bazate pe emisiunea fotoelectronică a unui catod de cesiu sau de alt material, celule fotoresistive, bazate pe efectul fotoelectric intern, adică pe scăderea rezistenței electrice a unor materiale semiconductoare (de ex. sulfură de plumb, de taliu, sau de cadmiu) când sunt iluminate — și celule fotovoltaice sau cu strat de baraj, realizate cu seleniu, și cari sunt, în realitate, generatoare ale unui curent electric proporțional cu fluxul luminos care cade pe celulă.

Celulele fotoemise cer pentru alimentare o sursă de tensiune de 100...300 V, dau un curent foarte slab, de ordinul microamperilor, și au o sensibilitate de ordinul a 20...200 $\mu\text{A/lm}$; ele au o inerție foarte mică în răspuns, și o caracteristică de sensibilitate spectrală în gama de lungimi de undă vizibile. Ele nu pot acționa direct un instrument de măsură mai robust — ci trebuie urmate de un amplificator electronic. În schimb, asigură o mare reproducibilitate a caracteristicilor.

Celulele fotorezistive sau fotorezistențele au o sensibilitate mult mai mare decât a celulelor fotoemise, atingând uneori câțiva mA/lm; sensibilitatea lor poate atinge maximum în domeniul infraroșului, o calitate uneori prețioasă. În schimb, sunt influențate foarte mult de temperatură și sunt insuficient de stabile în timp. Și celulele fotorezistive sunt urmate de amplificatoare electronice.

Celulele fotovoltaice sau cu strat de baraj nu au nevoie de o sursă de tensiune exterioară, fiindcă sunt ele însele generatoare. Pot acționa direct un instrument indicator sau un releu sensibil, ceea ce constituie un mare avantaj. Nici caracteristicile acestor celule nu sunt însă atât de invariabile în timp cum sunt cele ale celulelor fotoemise cu vid, și sunt mult influențate de temperatură.

Celulele fotoelectrice de toate tipurile se folosesc în automatizări și în tehnica măsurării mărimilor neelectrice — atât pentru măsurarea directă a unor mărimi optice (iluminare, colorimetrie, radiații, etc.), cât și pentru măsurarea indirectă a altor mărimi (de ex. releuri fotoelectrice, dispozitive de urmărire a unui profil desenat, măsurarea turației unor axe fără contact mecanic cu ele, pirometre de radiație, etc.). —

Transductoarele electrodinamice, în cari mărimea neelectrică (mecanică) de măsurat e tradusă într-o tensiune electromotoare de inducție, sunt adeseori generatoare tahometrice — cari dau la ieșire o tensiune electromotoare proporțională cu turația unui ax. O altă formă de transductor electrodinamic e destinată măsurării vibrațiilor. Acesta e constituit dintr-o bobină care se mișcă în câmpul unui magnet permanent. Deși transductoarele electrodinamice dau o tensiune electromotoare proporțională cu viteza de mișcare, prin folosirea unor simple circuite electrice de integrare sau diferențiere se poate obține o tensiune proporțională cu amplitudinea sau cu accelerația mișcării. —

Transductoarele termoelectrice sunt termocuple. Dacă într-un circuit constituit din două conductoare diferite, sudate la cele două extremități, se încălzește unul dintre cele două puncte de contact, tensiunea electromotoare termoelectrică din circuit depinde de diferența dintre temperaturile celor două extremități. Un astfel de circuit, în combinație cu un milivoltmetru sau cu un circuit de compensare (potențiomtru), se folosește pentru măsurarea temperaturilor.

În tehnică sunt folosite curent termocuplele platină-platină rodiiu, pentru temperaturi de

1000...1600°, termocuplele cromel-alumel, pentru temperaturi de 500...1200° și cupru-constantan, sau cupru-copel, pentru temperaturi până la 350...500°. Pentru măsurarea temperaturilor până la 500° sunt de preferit însă termometrele cu rezistență electrică, cari prezintă avantajul că, chiar când se cere să se măsoare temperatura cu o precizie mare, nu au nevoie de o temperatură constantă de referință, cum e cazul termocuplelor. De asemenea pentru temperaturi peste 1500° se folosesc pirometre de radiație cu celule fotoelectrice, sau rozete de termocuple.

Transductoarele piezoelectrice se bazează pe efectul piezoelectric, care consistă în apariția unor sarcini electrice de polarizație la suprafața unor dielectrici cu structură cristalină (de ex. cristalul de cuarț sau de sare Seignette), sub acțiunea unor tensiuni sau a unor deformații mecanice.

Datorită frecvenței lor proprii foarte înalte, transductoarele piezoelectrice sunt indicate în special pentru măsurarea unor forțe, presiuni, sau deplasări cari variază foarte repede. Aplicațiile lor curente, sunt: ridicarea diagramelor presiune-volum la mofoarele cu explozie, măsurarea vibrațiilor și a oscilațiilor mecanice, profilometre pentru verificarea calității de prelucrare a suprafețelor metalice. —

Transductoarele electrochimice se folosesc pentru măsurarea exponentului de hidrogen (pH): între un electrod metallic și o soluție care conține ioni ai aceluși metal, sau între două soluții de concentrații ionice diferite, separate printr-un perete semipermeabil, apare o diferență de potențial care depinde în principal de concentrația soluțiilor respective. Măsurând diferența de potențial electric apărută, se poate determina deci exact concentrația uneia dintre soluții, dacă se cunoaște concentrația celeilalte. Între diferitele tipuri de electrozi folosiți pentru măsurarea pH-ului în industrie, se folosește adeseori ca electrod activ, electrodul de sticlă, compus dintr'un balon subțire de sticlă specială, umplut cu o soluție de concentrație normală. Balonul, se cufundă în soluția al cărei pH se cercetează, și se determină diferența de potențial care apare la suprafața sticlă-soluție. Pentru măsurarea acestei diferențe de potențial, se cufundă în soluție și un al doilea electrod, de referință (de obicei de calomel), obținându-se prin aceasta lanțul de măsură a pH-ului. Diferența de potențial care rezultă între electrozi e de ordinul sutelor de milivolți pentru pH variind între 2 și 12; deci, e relativ mare, însă în măsurarea acestei diferențe de potențial apar dificultăți datorite rezistenței interne foarte mari (dela zeci de kilohmi la zeci de megohmi) pe care o prezintă lanțul electrozilor. Această rezistență mare a electrozilor impune circuitului de măsură condiționea de a absorbi un curent cât mai mic, pentru a nu denatura rezultatele măsurărilor. Din această cauză pentru măsurarea diferenței de potențial dintre electrozi se folosesc, aproape exclusiv metodele potențio-

metrice (de compensare) sau metodele electro-nice de citire directă.

1. **Transductor perfect** [совершенный преобразователь; transducteur parfait; vollkommener Übersetzer; perfect transducer; tökéletes transzduktor]; Cuadripol pasiv, prin intermediul căruia un receptor electric poate absorbi maximul de putere (activă) dintr'un generator dat. Dacă generatorul are o tensiune electromotoare U_e și o impedanță internă $Z_i = R_i + jX_i$, iar receptorul are o impedanță $Z_r = R_r + jX_r$, transductorul perfect cuprinde dispozitive pentru anularea reactanțelor X_i și X_r (de ex. reactanțe în serie, egale, respectiv, cu $-X_i$ și $-X_r$) și un transformator perfect, cu raportul de transformare optim ($n = \sqrt{R_r/R_i}$). În acest caz, puterea absorbită de receptor e maximă și egală cu $U_e^2/4R_i$ (v. și Teorema transferului maxim de putere).

2. **Tranșee** [траншея; tranchée; Graben; trench; árok]. Tehn.: Șanț de lățime mică în raport cu lungimea. Tranșeele sunt folosite pentru așezarea fundației unui zid, a unor conducte, cabluri, canalizări, etc. Uneori se numesc tranșee și debleurile executate pentru a permite instalarea unei căi ferate sau construcția unei șosele într'un teren accidentat.

3. **Transfer** [трансферт; transfer; Verlegung, Umlegung; transfer; áthelyezés]. 1. Trecerea energiei dela un generator la un receptor.

În telecomunicații, transferul se poate face direct sau printr'un cuadripol; în transmisiune se pune accentul pe trecerea energiei prin propagare, dela un capăt la altul al unui lanț de cuadripoli sau al unei linii.

Transferul poate fi caracterizat prin mărimi ca: transferul de putere, impedanța de transfer, exponentul de transfer.

Transferul maxim de putere electrică, dela un generator la un receptor, legat direct la bornele generatorului, privește în general puterea activă; când se specifică, se poate referi și la puterea aparentă. Condițiunea ca, dintr'un generator dat, să se transfere un maxim de putere (activă) într'un receptor de impedanță variabilă, e ca expresiunea în complex a impedanței receptorului să fie imagină conjugată cu expresiunea în complex a impedanței interne a generatorului.

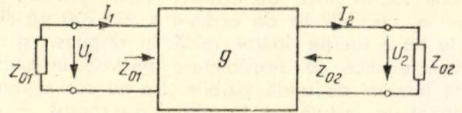
Impedanța de transfer dintre două perechi de borne ale unei rețele electrice oarecare e raportul complex dintre expresiunea în complex a tensiunii sinusoidale aplicate la o pereche de borne i , și expresiunea în complex a curentului rezultat la o altă pereche de borne k , toate celelalte borne fiind terminate într'un mod specificat ($Z_{ir} = U_i/I_k$).

Exponentul de transfer al unui cuadripol e mărimea

$$g = \frac{1}{2} \ln \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{I_1}{I_2},$$

unde U_1 , I_1 și U_2 , I_2 sunt, respectiv, tensiunea și curentul la intrarea (1) și la ieșirea (2) a cuadri-

polului, când acesta e terminat prin impedanțele sale imagine (v. fig.).



Schiema transferului de energie.

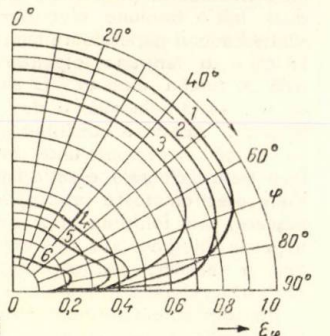
g) exponent de transfer; Z_{01} și Z_{02}) impedanțele imagine la intrarea și la ieșirea cuadripolului; I_1 și I_2) curentii la intrare și la ieșire; U_1 și U_2) tensiunile la intrare și la ieșire.

4. **Transfer** [переводная труба; conduite de transfer; Transferleitung; transfer pipe; transzfervezeték]. 2. Ind. petr.: Conducta prin care se face transportul de material, la instalațiile tubulare, dela ieșirea din cuptor, la coloana sau la vasul următor.

5. **Transfer** [пересадка; transfer; Versetzung; change of destination; áthelyezés]. 3. Silv.: Artificiu de amenajament, caracteristic metodei afecțiilor permanente, care consistă în atribuirea unei parcele, în mod provizoriu, unei alte afecții decât celei din care face parte pe teren, și anume unei afecții care vine în rând de exploatare la o epocă mai potrivită cu vârsta arboretului respectiv.

6. **Transfer de căldură** [теплопередача; échange de chaleur; Wärmeübertragung; heat transfer; hőközlés, hőátadás]. Termot.: Schimbul de căldură dinspre părțile mai calde spre părțile mai reci ale sistemelor fizicochimice. Schimbul local de căldură se descrie cu ajutorul densității curentului (fluxului) de căldură, care e un vector de valoare absolută egală cu căldura transferată în unitatea de timp prin unitatea de arie a secțiunii transversale pe direcția de schimb și dirijat în direcția și în sensul schimbului.

Se deosebesc: transfer de căldură prin radiație, prin conducție, și prin convecție. El se poate face în regim staționar, sau variabil, după cum temperatura diferitelor părți ale corpurilor e independentă de timp, sau depinde de timp.



1. Gradul de înnegrire ϵ_p al corpurilor emițătoare, lucioase și mate.

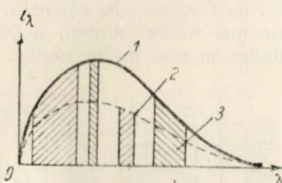
1) lemn; 2) corindon; 3) cupru oxidat; 4) bismut; 5) bronz de aluminiu; 6) alamă.

Căldura radiată independent de conducție sau de convecție ei. Producerea și suprimarea energiei radiate prin radiație termică sunt însă legate de celelalte două forme de transfer de căldură (v. Radiație termică, Radiație, Schimbul de căldură prin ~ termică).

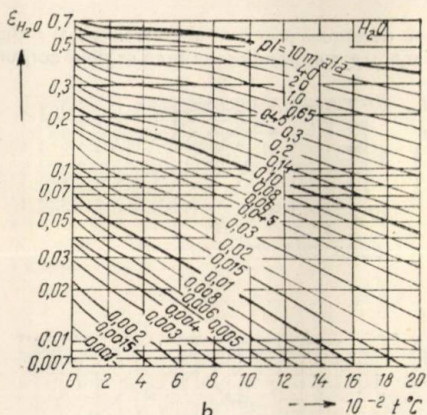
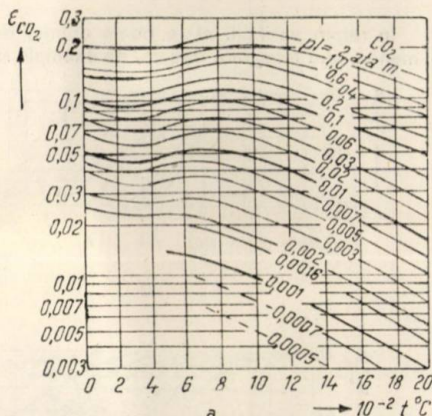
Comportarea corpurilor solide în legătură cu legea întâi a lui Lambert referitoare la emisiunea radiației termice este reprezentată în fig. I în care (1) reprezintă radiația lemnului, (2) a corindonului, (3) a cuprului oxidat, (4) a bismutului, (5) a bronzului de aluminiu și (6) a alamei. Radiațiile polarizate se comportă deosebit în planul de polarizație și într'un plan perpendicular pe acesta.

Radiația lichidelor e, în general, practic neglijabilă, din cauza micilor diferențe de temperatură, cari se nivelează printr'o transmisie bună a căldurii prin convecție.

Radiația gazelor se deosebește de radiația solidelor: Absorpția și emisiunea se fac selectiv (v. fig. II). Emisiune importantă prezintă numai gazele triatomice (CO_2 și H_2O).



II. Intensitatea radiației emise a corpului negru (1), a unui corp cenușiu (2) și a unui gaz (3).



II. Curbele reprezentative ale coeficientului de emisiune ϵ_{CO_2} , respectiv $\epsilon_{\text{H}_2\text{O}}$, în funcție de temperatură, pentru diferite valori ale produsului presiunii prin lungimea de absorpție.

Emisiunea gazelor se calculează tehnic aproximativ după legea lui Stefan, combinată cu legea lui Planck:

$$q_g = E_g C_0 \left(\frac{T_g}{100} \right)^4$$

Cu $\epsilon_g = \epsilon_{\text{CO}_2} + \beta \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta \epsilon_g$. Coeficienții de emisiune ϵ_{CO_2} și $\epsilon_{\text{H}_2\text{O}}$ sunt dați în diagrame în funcție de produsul presiunii parțiale prin lungimea de absorpție (v. fig. III a și b), iar β e influența presiunii parțiale a vaporilor de apă și $\Delta \epsilon_g$ e absorpția mutuală a gazelor (v. fig. IV și V).

În cazul radiației într'un focar, densitatea curentului e:

$$q_{gp} = \epsilon'_p C_0 \left[\epsilon_g \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - A_g \left(\frac{T_p}{100} \right)^4 \right]$$

unde

$$\epsilon'_p = \frac{1 + \epsilon_p}{2}, \quad A_g \approx \epsilon_g \quad \text{și} \quad T_g = \sqrt[4]{T_{g1}^2 T_{g2}^2},$$

în care indicii g și p se referă la gaz și perete, iar 1 și 2 la intrarea și ieșirea din focar.

În cazul focarelor de o anumită formă, se introduce factorul de formă (l) egal cu raza echivalentă a focarului emiseric care prezintă o absorpție egală cu cea a focarului existent. În practică

$$l \approx \frac{4V}{S},$$

unde V și S sunt volumul și suprafața focarului. Conducția căldurii se face între particulele corpurilor și e condiționată de schimbul de energie cinetică de agitație termică între aceste particule, când există în corpurile gradient de temperatură. Ea se face conform legii lui Fourier (v. Legea de conducție a căldurii), care are expresiunea:

$$\bar{q} = -\lambda \text{ grad } \theta,$$

λ fiind conductibilitatea termică interioară a corpului, (mărimă tensorială de ordinul al doilea în cris-

tale și scalară în corpurile izotrope sau amorf), variabilă cu temperatura, iar θ e câmpul de temperatură. De fapt, în corpurile izotrope tensorul conductibilitate termică e un tensor normal (v.), care poate fi caracterizat printr'un singur scalar. Se poate ținea seamă de variația cu temperatura a mărimii λ , operând cu

$$\text{media } \lambda_m = \frac{1}{\theta_1 - \theta_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \lambda d\theta.$$

Din legea lui Fourier și din bilanțul de căldură se deduce ecuația lui Fourier (v. sub Legea de conducție a căldurii), care determină câmpul temperaturii:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \text{ div grad } \theta + \frac{M}{\rho c},$$

unde $\lambda/\rho c$ este difuzibilitatea termică a corpului, ρ și c fiind densitatea și căldura lui specifică, iar M sunt izvoarele sau golurile specifice (pe unitatea de volum). Condițiunile de frontieră ale integrării ecuației lui Fourier sunt date de legea lui Newton, privitoare la schimbul superficial de căldură; ea are, între un solid și un fluid, expresiunea:

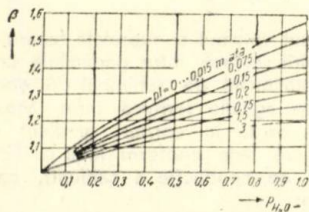
$$q = \alpha(\theta_1 - \theta_2),$$

α fiind coeficientul de schimb superficial al căldurii

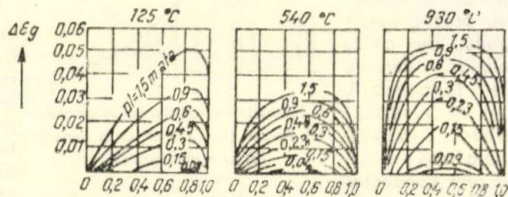
Căldura schimbată în timpul $t_2 - t_1$ printr-o suprafață S are expresiunea:

$$Q = - \int_{t_1}^{t_2} \int_S \lambda \text{ grad } \theta d\bar{S} dt.$$

Schimbul de căldură în regim staționar se poate calcula, în numeroase cazuri, prin integrarea ecuației lui Fourier: de exemplu, în cazul peretelui din mai multe straturi, al coajilor cilindrice sau sferice în mai multe straturi, etc.



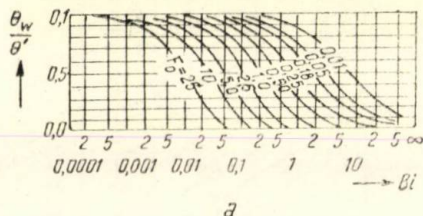
IV. Curbele reprezentative ale valorilor coeficientului β , în funcție de presiunea vaporilor de apă pentru diferite valori ale produsului presiunii prin lungimea de absorpție.



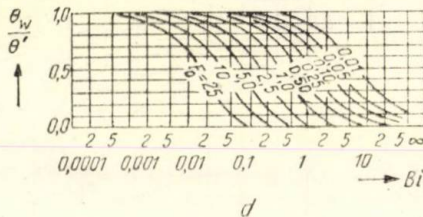
V. Curbele reprezentative ale valorilor coeficientului $\Delta \epsilon g$ în funcție de presiunea relativă a vaporilor de apă pentru diferite valori ale produsului presiunii prin lungimea de absorpție.

care se determină prin studiul convecției, și radiației, iar θ_1 și θ_2 sunt temperaturile celor două corpuri.

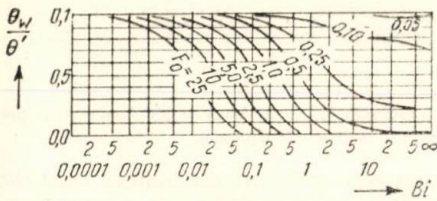
În regim variabil, el se poate obține, de asemenea, prin integrare directă, de exemplu în cazul



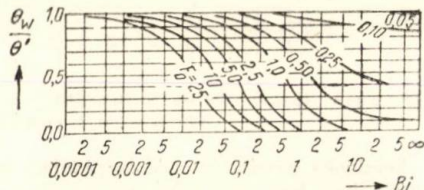
a



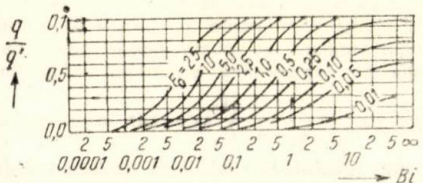
d



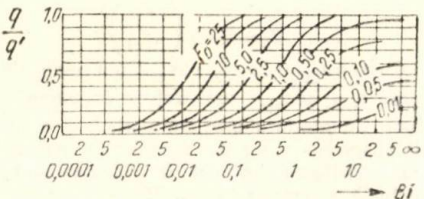
b



e



c



f

V a), b) și c) curbele $\frac{\theta_w}{\theta'} = f(Bi, Fo)$, $\frac{\theta_0}{\theta'} = \varphi(Fo, Bi)$ și $\frac{q}{q'} = \psi(Bi, Fo)$ în cazul sferic; d), e) și f) curbele $\frac{\theta_w}{\theta'} = f(Bi, Fo)$,

• $\frac{\theta_0}{\theta'} = \varphi(Bi, Fo)$ și $\frac{q}{q'} = \psi(Bi, Fo)$ în cazul cilindricului.

răcirii sau al încălzirii unui corp cu temperatură uniformă într'un mediu cu temperatură uniformă și constantă, sau în cazul unui corp care ocupă jumătate din spațiu și e limitat de un plan infinit, temperatura la distanță mare de plan fiind dată. În cazul peretelui plan, integrarea e anevoioasă și se preferă integrarea grafică. În cazul pereților cilindric și sferic, metoda cea mai comodă de calcul e metoda criteială (v. și sub Similitudine fizică). Din ecuația lui Fourier și din condițiunile la limită date de legea lui Newton rezultă ecuațiile criteiale:

$$\frac{\theta_i - \theta_p}{\theta_i - \theta_c} = f(Bi, Fo);$$

$$\frac{\theta_i - \theta_c}{\theta_i - \theta_i'} = \varphi(Bi, Fo) \text{ și } \frac{q}{q'} = \psi(Bi, Fo),$$

unde θ_i e temperatura inițială a corpului cald, θ_i' cea a corpului rece, θ_p temperatura pe perete, θ_c temperatura în ax, q' căldura conținută inițial în corp, $Bi = \frac{\alpha l}{\lambda}$ criteiul Biot, $Fo = \frac{at}{l^2}$ criteiul Fourier, iar f , φ și ψ sunt funcțiuni deduse teoretic sau experimental. Fig. VI reprezintă aceste funcțiuni pentru pereții cilindric și sferic. —

Convecția căldurii e transferul de căldură condiționat de mișcarea de convecție a fluidelor. Mișcarea acestora poate fi cauzată de variația în spațiu a greutateii specifice în câmpul de gravitație și în acest caz, se numește, convecție liberă, sau poate fi produsă prin acționarea mecanică, din afară, și se numește în acest caz convecție forțată. Convecția căldurii urmează legea de convecție a lui Newton, care pune densitatea curentului de căldură sub forma $q = \alpha \Delta \theta$. Schimbul de căldură prin convecție e influențat de peliculele de fluid cari se formează la suprafețele de separație solid-fluid și cari se datoresc adeziunii și viscozității fluidului. În acestea, schimbul de căldură se face conform ecuației de conducție convectivă Fourier-Kirchhoff, a căldurii:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \bar{v} \text{ grad } \theta = \lambda \text{ div grad } \theta,$$

unde $\bar{v}$ e viteza fluidului. Celelalte legi cari interesează în convecție sunt legile de mișcare a fluidelor vâscoase: Legea continuității:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \bar{v}) = 0$$

și ecuația lui Navier-Stokes:

$$\rho \left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + \frac{\partial v_i}{\partial x_j} v_j \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \left[\text{div grad } \bar{v}_i + \frac{1}{3} \frac{\partial}{\partial x_i} (\text{div } \bar{v}) \right] - \rho g_i - \rho g_i \beta \Delta \theta,$$

unde p e densitatea p e presiunea, g e accelerația gravitației, β e coeficientul de dilatare și μ e viscozitatea fluidului.

Rezolvarea directă a acestui sistem de ecuații pentru cazurile importante în tehnică nefiind posibilă, se fac simplificări importante sau se folo-

sște metoda similitudinii. În cazuri speciale, cum e convecția la schimbarea stării de agregare, se fac simplificări specifice.

Ecuațiile criteiale folosite în convecție, în cazul curgerilor cu viteze mici (sub viteza punctului în condițiunile de curgere), sunt de forma:

$$Nu = c Re^m Cr^n Pr^p Fo^b K^s Le^u,$$

unde $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$ e criteiul Nuselt; $Re = \frac{vl}{\nu}$ e criteiul Reynolds (ν fiind viscozitatea cinematică);

$Gr = \frac{g l^3}{\nu^2} \beta \Delta \theta$ e criteiul Grasshoff; $Pr = \frac{\nu}{a}$ e criteiul

Prandtl; $Fo = \frac{at}{l^2}$ e criteiul Fourier; $K = \frac{\gamma}{c_p \Delta \theta}$ e

criteiul Kutateladze (γ fiind căldura latentă de vaporizare și c_p fiind căldura specifică la presiune

constantă) și $Le = \frac{a}{kd}$ e criteiul Lewis (k fiind coeficientul de evaporare). Parametrii din criteii sunt valori medii.

La convecția forțată în regim staționar, fără schimbarea stării de agregare, n , b , s și u sunt aproape nuli, astfel încât

$$Nu = c Re^m Pr^p.$$

Cum Pr la gaze e constant

$$Nu = c Re^m Pr^n.$$

În cazul convecției libere în regim staționar, fără schimbarea stării de agregare, m , r , s respectiv u , sunt nuli și

$$Nu = c Gr^n Pr^p \text{ sau, la gaze, } Nu = c Gr^n.$$

Determinarea constantei și a exponenților din aceste ecuații simplificate, cu domeniu de utilizare restrâns, se face pentru fiecare domeniu experimental. De exemplu: În convecția forțată, cu neglijarea gravitației și schimbarea stării de agregare:

La plăci, pentru $10^5 < Re < 10^6$

$$Nu = 0,0356 Re^{0,8} Pr^{0,4} \text{ și } \alpha = 0,0356 \frac{\lambda}{l} \cdot Re^{0,8} Pr^{0,4}.$$

La aer: $Nu = 0,032 Re^{0,8}$.

La tuburi cu circulație interioară, în regim laminar, pentru $Re < 2,4 \cdot 10^3$ și $\frac{l}{d} < 0,04 Re Pr$

$$Nu = 1,615 \left(\frac{d}{l} Re Pr \right)^{\frac{1}{3}} \text{ la răcire}$$

$$Nu = 2,4 \left(\frac{d}{l} Re Pr \right)^{\frac{1}{3}} \text{ la încălzire, iar pentru}$$

$$\frac{l}{d} > 0,056 Re Pr,$$

$$Nu = 3,66.$$

În regim turbulent, $10\,000 < Re < 400\,000$ și $0,7 < Pr < 200$.

$$Nu = 100 \left(\frac{Re}{30\,000} \right)^{0,8} Pr^{0,35} \text{ la răcire}$$

$$Nu = 100 \left(\frac{Re}{40\,000} \right)^{0,8} Pr^{0,45} \text{ la încălzire.}$$

Influența curburii tuburilor e exprimată printr'un coeficient $\varepsilon_c = 1 + 1,77 \frac{d}{R}$, în care d e diametrul tubului și R e raza de curbura. Influența lungimii țevii e exprimată printr'un alt coeficient ε_l , dat în tabele sau în diagrame. Rugozitatea a.e. de asemenea influență. Forma țevii se exprimă prin lungimea caracteristică, sub forma metrelui echivalent $d_e = \frac{4S}{u}$, în care u e perimetrul pe care se face schimbul de căldură.

La tuburile cu circulație exterioară perpendiculară sau înclinată față de ax, α variază pe periferia tubului, datorită schimbării caracterului curgerii. Practic, se utilizează valoarea medie

$$\alpha_m = \frac{1}{\pi d} \int_0^{\pi d} \alpha dl, \text{ valoare dată de ecuațiile criteriale}$$

$Nu = c Re^m Pr^n$ sau $Nu = c' Re^n$ pentru aer. Valorile c , c' , m și n au valori date în tabele.

La bateriile de tuburi cu circulație exterioară perpendiculară sau înclinată pe ax, ecuația criterială e: $Nu = c \varepsilon Re^m Pr^{0,4}$ sau $Nu = c' \varepsilon Re^m$ pentru aer. Valorile constantelor și exponenților sunt date în tabele pentru fiecare domeniu de aplicație.

Coeficientul total e

$$\alpha_m = \frac{\sum_i n_i \alpha_i}{\sum_i n_i}$$

unde $\sum_i n_i$ e numărul de țevi.

Influența unghiului de atac se exprimă printr'un coeficient de corecție ε_φ .

În convecția liberă fără schimbarea stării de agregare, ecuația generală are forma:

$Nu = c(Gr Pr)_m^n$ cu media aritmetică a temperaturilor $\theta_m = \frac{\theta_p + \theta_f}{2}$ și cu valorile constantei c și exponentului n din tabele în funcție de domeniul determinat de valoarea lui $(Gr Pr)_m$.

La convecția cu schimbarea stării de agregare (evaporare, fierbere și condensare) se introduc, prin factorii adecvați, criterii caracteristice. La evaporare se introduce criteriul Lewis $Le = \frac{a}{kd}$, β fiind coeficientul de evaporare și kd coeficientul de difuziune $\frac{\alpha}{\beta} = c_p Le^{0,95}$, unde β se măsoară direct sau se determină din relații experimentale.

La fierbere, coeficientul de schimb superficial e dat de relația:

$$Nu = 0,075 Pr^{-0,5} K_c^{0,7} K_d^{0,33},$$

în care $K_c = \frac{pl}{\lambda \sigma} \frac{\gamma' - \gamma''}{\gamma'}$ e criteriul care determină centrul activi de vaporizare, σ e tensiunea superficială și $K_d = \frac{\gamma'}{\gamma''} \frac{c\sigma}{\gamma pl} \frac{\gamma'}{\gamma' - \gamma''}$ e criteriul care de-

termină frecvența de desprindere a bășicuțelor de vapori.

Solicitarea termică critică e

$$K_c = 995 Pr^{0,5} K_d^{-0,66} Ar^{0,25},$$

unde criteriul Arhmede este $Ar = \frac{g l^3}{\nu^2} \frac{\gamma' - \gamma''}{\gamma'}$.

La condensare, teoria peliculelor duce la relația criterială:

$$Nu = c (Ga, Pr, K)^{0,25}$$

unde $Ga = \frac{g l^3}{\nu^2}$ e criteriul Galileu, K e criteriul

lui Kutateladze și c are valorile 1,15 pentru țevile verticale și 0,72 pentru cele orizontale.

Formula se folosește sub forma:

$$\alpha = c \sqrt[4]{\frac{\gamma^2 \theta \lambda^3}{\mu}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\gamma}{\Delta \theta}}$$

În studiul schimbului global de căldură se ține seamă de transferul de căldură, atât prin radiație, cât și prin conducție și convecție; se introduc coeficientul global de schimb și rezistența totală de trecere într-o ecuație de tipul:

$$Q = K S_1 \Delta \theta = \frac{1}{R_t} \Delta \theta.$$

În aceasta, în cazul general:

$$R_t = \sum_i R_i = \frac{1}{S_1 \alpha_1} + \frac{1}{S_1 \varepsilon_f \lambda_m} + \frac{1}{S_2 \alpha_2},$$

unde $\alpha = \alpha_i + \alpha_r$, iar ε_f e un coeficient de formă.

Astfel: la peretele plan, $\varepsilon_f = 1$, la peretele cilindric

$\varepsilon_f = (d_1 - d_2)/d_1 \ln \frac{d_2}{d_1}$ la peretele sferic $\varepsilon_f = d_1/d_2$ etc.

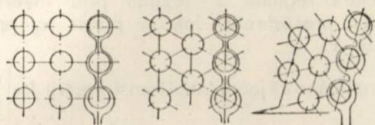
Problemele tehnice referitoare la schimbul global de căldură pot consta în intensificarea sau în reducerea lui (izolații), respectiv în reglarea lui, în sistemele tehnice cari au o temperatură optimă de funcționare. Intensificarea schimbului de căldură e necesară pentru a se putea micșora suprafața de schimb, la schimbătoarele de căldură, și pentru a asigura răcirea mașinilor mari, în cari producerea de căldură e proporțională cu volumele și deci cu puterea a treia a lungimilor, iar schimbul de căldură e proporțional, la diferențe de temperatură date, cu suprafețele și deci cu puterea a doua a lungimilor (cu cât mașina e mai mare, cu atât răcirea e mai dificilă fără o intensificare a schimbului de căldură). Această intensificare se urmărește prin micșorarea mărimii R_i , respectiv prin mărirea lui $K S_1$. Micșorarea lui R_i se realizează numai prin micșorarea celei mai mari dintre rezistențele R_i , deci prin mărirea celui mai mic dintre componenții α_1 , S_1 , α_2 , S_2

și $\varepsilon_f \frac{\lambda_m}{\delta_i} S_1$. În cazul intensificării se iau ca bază

termenii $\alpha_1 S_1$ și $\alpha_2 S_2$, cari sunt mici față de ultimul. Mărirea lui α se realizează, în special pentru gaze (unde α e mic în raport cu valoarea lui la lichide), prin mărirea vitezei de curgere ($Nu = c Re^m Pr^n$) și prin mijloace mecanice ex-

terne (ventilatoare sau pompe). Mărirea vitezei e limitată de condițiuni de economie. Mărirea suprafeței S în zona celui mai mic d (în special la gaze, când două medii: — un gaz și un lichid — se găsesc de cele două părți ale peretelui) se face prin introducerea nervurilor la plăci, a proeminențelor aciculare la plăci și tuburi și a aripioarelor, la tuburi.

Intensificarea schimbului de căldură la condensare, în țevile verticale, se face prin introducerea căciulilor de reduceri ale filmului de condensat, iar



VII. Schema așezării relative a țevelor într'un condensator după trei tipuri diferite.

la fasciculele de țevi orizontale prin așezarea relativă a țevelor. Așezarea convenabilă e cea din fig. VII în dreapta.

Izolarea se realizează prin mărirea rezistenței totale R_t , respectiv prin scăderea mărimii KS_1 . Se poate acționa în special asupra termenului $\epsilon_f \lambda_m / \delta_f$; uneori se poate micșora mărirea α , datorită scăderii schimbului prin radiație α_r ($\alpha = \alpha_c + \alpha_r$). Micșorarea mărimii α_r se realizează prin efectul de paravan. Pe baza acestuia se realizează materialul izolat compus din foițe foarte subțiri de aluminiu, așezate la distanțe foarte mici una de alta. Acționarea asupra termenului $\epsilon_f \lambda_m S_1 / \delta_f$ se face prin micșorarea mărimii λ_m alegând un material cu conductibilitate mică. Astfel de materiale sunt izolante din cauza conducției slabe a gazelor, pe cari le cuprind, în straturi foarte subțiri și în globule cu diametru mic, astfel încât în ele să nu se producă mișcări convective. De exemplu, efectul de izolație al straturilor de aer e bine cunoscut și larg folosit. Acționarea asupra termenului $\epsilon_f \lambda_m S_1 / \delta_f$ se poate face și prin mărirea grosimii δ_f , deci a stratului de izolanț; această mărire e limitată prin considerații de economie.

O problemă importantă a izolațiilor o constituie comportarea ansamblului izolat față de umiditate.

În construcțiile de clădiri și industriale (de cuptoare) izolația trebuie așezată astfel, încât condensarea vaporilor să nu distrugă instalația prin congelarea umediei pătrunse în pereți.

Problemele tehnice pe cari le pune transferul de căldură în schimbătoarele de căldură (v.), prin cari se face transferul de căldură dela un mediu la altul, în procese de încălzire, fierbere, vaporizare, condensare, răcirii, sau în orice alte procese la cari participă procesele elementare specificate mai sus, se rezolvă, în cazuri mai simple, prin calcul, iar în cazuri complicate, prin mode-

lare. La construirea mediului unui schimbător se alege, de obicei, scara geometrică, celelalte scări fiind determinate de condițiunile de similitudine (egalitatea valorilor criteriile determinante). Scara la care se construiește modelul trebuie să nu condiționeze deosebiri sensibile între fenomenele din model și cele din original și să nu schimbe raportul dintre fenomenele principale și efectele secundare însoțitoare. De aceea, la construcția de serie, încercările se fac direct pe original, calculele fiind verificate pe prototip, iar când aceasta nu e posibil și schimbătorul prezintă mare importanță, verificarea se face pe un model la scară redusă.

1. **Transferarea ochiurilor** [надевание петель; transfer des mailles; Maschenversetzung; mesh transfer; szemnagyság-változtatás]. Ind. text.: Operațiune de trecere a ochiurilor manșetei unui ciorap (tricotată pe altă mașină) de pe dinții unui pieptene circular (numit gherghet) pe acele mașini circulare automate de tricotat ciorapi.

2. **Transfilaj.** Nav. m. V. Firuială.

3. **Transformare** [преобразование; transformation; Umwandlung; transformation; átalakítás]. 1. Alg.: Corespondență între două mulțimi A și B , astfel că unui element a , aparținând mulțimii A , îi corespunde un element b , aparținând mulțimii B , adică $a \rightarrow b$.

4. **Transformare** [преобразование; transformation; Umwandlung; transformation; átalakítás, transzformáció]. 2. Topol.: Corespondență între două spații topologice X și Y , astfel că fiecărui punct x al lui X îi corespunde un punct y bine determinat al lui Y . Dacă orice punct y al lui Y corespunde cel puțin unui punct x al lui X , se obține o transformare a lui X în Y , sau reprezentarea lui X pe Y .

În sensul acestei definiții, transformările dela spațiu la spațiu constituie o generalizare a noțiunii de funcțiune, în care X are rolul câmpului de variație al variabilei independente (în cazul de față, punctul x), iar Y acela al variabilei dependente (adică punctul y).

Prin analogie cu notația clasică, o transformare dela spațiul X la spațiul Y se scrie sub forma $y = f(x)$.

Notând cu $f(A)$ imaginea unei mulțimi A care e inclusă în mulțimea X , mulțimea punctelor lui X cari au ca imagine punctele unei mulțimi B , incluse în Y , se notează cu $f^{-1}(B)$, notațiile rămânând valabile chiar dacă A și B se reduc la câte un punct.

Transformarea $y = f(x)$ e continuă în punctul x , dacă, oricare ar fi vecinătatea V_y a punctului y care e imaginea lui x , există o vecinătate U_x a lui x , astfel încât $f(U_x)$ e inclus în V_y .

Când funcțiunea $y = f(x)$ e continuă în fiecare punct x al unei mulțimi A incluse în X (mulțime care poate fi chiar X însuși), transformarea e continuă pe mulțimea A . —

O definiție mai directă a noțiunii de transformare continuă dela X la Y , care nu are nevoie de trecerea prin continuitatea într'un punct x al lui X , e următoarea: Pentru ca $y=f(x)$ să fie continuă pe X , trebuie și e deajuns ca, oricare ar fi mulțimea închisă (deschisă) F inclusă în Y , mulțimea $f^{-1}(F)$ să fie, de asemenea, închisă (deschisă).

O transformare continuă oarecare nu are, în general, proprietățile inverse precedentelor, adică: F fiind o mulțime închisă oarecare din X , mulțimea $f(F)$ nu e neapărat închisă în Y . De asemenea, o mulțime deschisă oarecare a lui X nu se transformă totdeauna într'o mulțime deschisă oarecare a lui Y , printr'o transformare continuă oarecare. De exemplu, transformarea dela planul X de coordonate (x_1, x_2) , la planul Y de coordonate (y_1, y_2) , definită prin relațiile

$$y_1 = e^{x_1} \cos x_2, \quad y_2 = e^{x_1} \sin x_2,$$

transformă semidreapta $x_1 \leq 0, x_2 = 0$, mulțime închisă în X , în mulțimea $0 < y_1 \leq 1, y_2 = 0$, care nu e închisă în Y ; iar transformarea

$$y_1 = x_1^2, \quad y_2 = x_2,$$

transformă orice mulțime deschisă a planului X care e tăiat de axa x_2 , într'o mulțime care nu mai e deschisă în Y .

Transformările continue, cari conservă mulțimile deschise, au un rol important în caracterizarea topologică a funcțiunilor analitice de o variabilă complexă.

1. Transformare analitică [аналитическое преобразование; transformation analytique; analytische Umwandlung; analytical transformation; analitikus átalakítás]: Transformarea punctuală (v.) $x \rightarrow \bar{x}$ între două spații $X, \bar{X}$, definită simbolic prin $\bar{x}=f(x)$, $f(x)$ fiind o funcțiune analitică (care poate fi dezvoltată în serie convergentă) în întregul spațiu X sau într'un domeniu din el.

2. $\sim$ de clasă C^r [преобразование класса C^r ; transformation de la classe C^r ; C^r Klassen-umwandlung; transformation of the C^r class; C^r osztály-átalakítás]: Correspondența $x \rightarrow y$ care transformă o regiune X dintr'un spațiu n -dimensional cu structură simplă, într'o regiune Y a aceleiași spațiu, x fiind un punct $(x^1, x^2, \dots, x^n)$ aparținând lui X , iar y un punct din Y , definită prin relații de forma

$$y^i = y^i(x^1, x^2, \dots, x^n), \quad (i=1, 2, \dots, n),$$

în cari $y^i(x)$ sunt funcțiuni de clasă C^r ($r > 0$), definite în regiunea X (adică funcțiuni uniforme, definite și continue în X , având derivate parțiale până la ordinul r inclusiv, de asemenea continue în tot X).

Prin regiune (aritmetică) $[x]=X$ se înțelege o mulțime de puncte, astfel încât fiecare punct al ei să fie centrul unui interval n -dimensional conținut în X (mulțime de puncte aritmetice din

spațiul aritmetic cu n dimensiuni, definită de inegalitățile

$$|x^i - x_0^i| < \delta, \quad (\delta > 0),$$

x_0^i fiind centrul). În baza acestei definiții, spațiul aritmetic e o regiune, deoarece fiecare punct al său e centrul unui interval n -dimensional conținut în el.

Funcțiunile $y^i(x)$ fiind de clasă C^r și într'o regiune X' inclusă în X , transformarea considerată operează și asupra oricărei regiuni X' incluse în X .

Structura regiunii Y rezultă prin inversarea ecuațiilor precedente, într'un punct x_0 aparținând lui X .

$$\text{Presupunând că jacobianul transformării } J = \begin{vmatrix} \frac{\partial y^i}{\partial x^j} \end{vmatrix}$$

e diferit de zero în orice punct x din X , teorema funcțiunilor implicite dă un sistem unic de soluții, constituind transformarea inversă

$$x^i = x^i(y^1, y^2, \dots, y^n),$$

într'un interval n -dimensional de centru y_0^i , în care funcțiunile $x^i(y)$ sunt tot de clasă C^r . Acest interval n -dimensional e în corespondență biunivocă cu o mulțime de puncte x din X , corespondență stabilită prin $y \rightarrow x$; deci, el e conținut de X , care conține imaginile tuturor punctelor din X . Cum Y e un interval n -dimensional cu centrul în y^i oarecare, Y e o regiune.

Deci, transformările de clasă C^r transformă regiunile în regiuni.

Regiunile X și Y nu sunt neapărat în corespondență biunivocă prin $x \rightarrow y$, chiar dacă $J \neq 0$ în fiecare punct x din X .

O transformare C^r , operând asupra unei regiuni X , e regulată, dacă e o transformare biunivocă și dacă jacobianul său e diferit de zero în orice punct x al regiunii X .

Fiind date două transformări regulate de clasă C^r ($r > 0$): $x \rightarrow y$, definită în regiunea $X \rightarrow Y$, și $y \rightarrow z$, definită în regiunea $Y \rightarrow Z$, rezultanta lor, transformând pe X în Z , e o transformare regulată de clasă C^r . De asemenea, inversa unei transformări regulate de clasă C^r e regulată de clasă C^r .

3. $\sim$ funcțională [функциональное преобразование; transformation fonctionnelle; Funktionsumwandlung; functional transformation; funkcionális átalakítás]: Correspondență între funcțiunile unei anumite clase de funcțiuni (numită domeniul transformării) și funcțiunile altei clase.

4. $\sim$ interioară [внутреннее преобразование; transformation intérieure; innere Umwandlung; inner transformation; belső átalakítás]: Transformarea continuă a unei varietăți topologice V cu două dimensiuni, într'o altă varietate cu același număr de dimensiuni W , sau o parte a lui W , având următoarele proprietăți: Transformă orice mulțime deschisă a lui V într'o mulțime deschisă

a lui $\bar{W}$; nu transformă niciun continuu al lui $\bar{V}$ într'un punct unic al lui $\bar{W}$. — Orice transformare topologică e o transformare interioară; de asemenea, e transformare interioară orice funcțiune analitică. — Noțiunea a fost introdusă în Matematica de S. Stoilov; ea are proprietăți remarcabile.

1. Transformare Laplace [преобразование Лапласа; transformation de L.; L.-Transformation; L. transformation; L. átalakítás]: Transformare funcțională a unei funcțiuni $f(t)$ de variabilă reală t , definită de

$$\varphi(\bar{p}) \equiv \mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^\infty f(t) e^{-\bar{p}t} dt,$$

unde $\bar{p} = c + j\omega$ e o mărime în general complexă, a cărei parte reală, pozitivă, c , lasă la stânga dreptei $\text{Re}(\bar{p}) = c$ singularitățile funcțiunii $\mathcal{L}\{f(t)\}$.

Transformarea Laplace e utilizată, în Fizică și în Tehnică, în studiul serviciului transitoriu al unor sisteme fizice cărora li se aplică principiul superpoziției. Ea e utilizată în Matematică în calculul unor integrale definite, în rezolvarea unor ecuații diferențiale, integrale și integrodiferențiale, în demonstrarea regulilor calculului cu operatori (v.) al lui Heaviside, etc.

Dacă $f(0) = f'(0) = \dots = f^{(n-1)}(0) = 0$, transformarea Laplace satisface relația

$$\mathcal{L}\{t^{(k)}(t)\} = \bar{p}^k \mathcal{L}\{f(t)\};$$

de asemenea:

$$\mathcal{L}\left\{\int_0^t f(t) dt\right\} = \frac{1}{\bar{p}} \mathcal{L}\{f(t)\}.$$

Transformata Laplace a funcțiunii în treaptă, care are valoarea $f(t) = 0$ pentru $t < 0$ și $f(t) = K$ pentru $t \geq 0$, este $K/\bar{p}$; transformata Laplace a funcțiunii impulsie, care e nulă în exteriorul intervalului $0 < t \leq \varepsilon$, iar în acest interval are valoarea K/ε , unde ε tinde către zero, este K ; transformatele Laplace ale funcțiunilor e^{at} , sin ωt și cos ωt sunt, respectiv,

$$\frac{1}{\bar{p} - a}, \quad \frac{\omega}{\bar{p}^2 + \omega^2} \quad \text{și} \quad \frac{\bar{p}}{\bar{p}^2 + \omega^2};$$

etc. Funcțiunea $f(t)$ se numește adesea funcțiunea original, iar $\mathcal{L}\{f(t)\}$ se numește imaginea ei Laplace, transformata ei Laplace, sau funcțiunea ei imagine (Laplace).

În calculul transformatei Laplace se utilizează câteva teoreme referitoare la această transformare. Cele mai importante teoreme sunt:

Teorema adunării:

Dacă

$$\varphi_1(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f_1(t)\}$$

și

$$\varphi_2(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f_2(t)\},$$

rezultă

$$\varphi_1(\bar{p}) \pm \varphi_2(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f_1(t) \pm f_2(t)\}.$$

Teorema înmulțirii și împărțirii cu o constantă:

Dacă a e un factor independent de timp, atunci pentru $\varphi(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f(t)\}$ se obține

$$a\varphi(\bar{p}) = \mathcal{L}\{af(t)\}$$

și

$$\frac{\varphi(\bar{p})}{a} = \mathcal{L}\left\{\frac{f(t)}{a}\right\}.$$

Teorema derivării în raport cu un parametru a :
Dacă

$$\varphi(t) = \mathcal{L}\{p(t)\},$$

rezultă

$$\frac{d\varphi(\bar{p})}{d\bar{a}} = \mathcal{L}\left\{\frac{df(t)}{da}\right\}.$$

Teorema înmulțirii imaginii cu parametru $\bar{p}$:

$$\bar{p}^n \varphi(\bar{p}) - \bar{p}^n f(0) - \bar{p}^{n-1} f'(0) \dots p f^{(n-1)}(0) = \mathcal{L}\left\{\frac{d^n f(t)}{dt^n}\right\}.$$

Când $f(0) = 0$; $f'(0) = 0$, etc. se obține:

$$\bar{p} \varphi(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f'(t)\}; \quad \bar{p}^2 \varphi(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f''(t)\};$$

$$\bar{p}^n \varphi(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f^{(n)}(t)\}.$$

Teorema împărțirii imaginii prin parametru $\bar{p}$:

$$\frac{\varphi(\bar{p})}{\bar{p}} = \mathcal{L}\left\{\int_{-\infty}^0 f(t) dt\right\} = \mathcal{L}\left\{\int_{-\infty}^t f(t) dt\right\};$$

dacă $f(t) = 0$ pentru $t \leq 0$ atunci

$$\frac{\varphi(\bar{p})}{\bar{p}} = \mathcal{L}\left\{\int_0^t f(t) dt\right\}.$$

Teorema decalării parametrului $\bar{p}$ cu o valoare oarecare a :

$$\frac{\varphi(\bar{p} \pm a)}{\bar{p} \pm a} = \mathcal{L}\left\{\int_0^t f(t) e^{\pm at} dt\right\}.$$

Teorema întârzierii (decalării originii timpului):
Dacă

$$\varphi(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f(t)\},$$

atunci

$$e^{-\bar{p}\tau_0} \varphi(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f(t - \tau_0)\},$$

cu condițiunea că pentru $t < \tau_0$ funcțiunea $f(t - \tau_0) = 0$.

Teorema asemănării, a fiind o mărime reală pozitivă ≥ 1 : Dacă

$$\varphi(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f(t)\},$$

atunci

$$\varphi(a\bar{p}) = \mathcal{L}\left\{f\left(\frac{t}{a}\right)\right\}.$$

Teorema înmulțirii imaginilor funcțiunilor originale (teorema lui Borel):

Dacă

$$\varphi_1(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f_1(t)\} \quad \text{și} \quad \varphi_2(\bar{p}) = \mathcal{L}\{f_2(t)\},$$

atunci

$$\begin{aligned} \frac{1}{\bar{p}} \varphi_1(\bar{p}) \varphi_2(\bar{p}) &= \mathcal{L}\left\{\int_0^t f_1(\tau) f_2(t - \tau) d\tau\right\} \\ &= \mathcal{L}\left\{\int_0^t f_1(t - \tau) f_2(\tau) d\tau\right\}. \end{aligned}$$

Trecerea dela funcțiunea imagine $\varphi(\bar{p})$ la funcțiunea original $f(t)$ se face cu ajutorul formulei de inversiune a lui Mellin—Fourier:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} e^{\bar{p}t} \varphi(\bar{p}) d\bar{p}.$$

Când funcțiunea $\varphi(\bar{p})$ e câtu la două polinoame, această formulă dă, pentru funcțiunea original, expresiuni cari se găsesc sub Operatori, calculul cu $\sim$ (v.). —

Fie, de exemplu, de determinat curentul $i(t)$ care trece printr'un circuit electric format din legarea în serie a unei rezistențe R , cu o bobină de inductivitate L și cu un condensator de capacitate C , după ce i se aplică, în momentul $t=0$, tensiunea la borne constantă U_b . Fenomenele din circuit satisfac ecuația

$$U_b = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt,$$

a cărei transformată Laplace este:

$$\mathcal{L}\{U_b\} = \frac{U_b}{p} = \left(R + pL + \frac{1}{pC}\right) \mathcal{L}\{i\},$$

de unde rezultă $\mathcal{L}\{i\}$ și, deci, cu ajutorul formulei de inversiune, însuși i (v. sub Operatori, calculul cu $\sim$).

1. Transformare punctuală [точечнопреобразование; transformation ponctuelle; Punkt Umwandlung; punctual transformation; pontos átalakítás]: Correspondență între o mulțime de puncte (aritmice) x formând un spațiu X , și mulțimea punctelor $\bar{x}$ cari aparțin unui spațiu $\bar{X}$, astfel că unui punct x care aparține lui X îi corespund unu sau mai multe puncte $\bar{x}$ aparținând lui $\bar{X}$. Dacă oricărui punct x aparținând lui X îi corespunde un singur punct $\bar{x}$ aparținând lui $\bar{X}$, correspondența punctuală respectivă constituie o transformare univocă a lui X în $\bar{X}$, scriindu-se $x \rightarrow \bar{x}$; dacă unui punct anumit x aparținând lui X îi corespunde în $\bar{X}$ un anumit punct $\bar{x}$, iar pentru $\bar{x}$ aparținând lui $\bar{X}$ dat există un singur punct x din X corespondent, adică dacă două puncte distincte ale lui X nu sunt corespondentele unui aceluiași punct din $\bar{X}$, transformarea $x \rightarrow \bar{x}$ e nesingulară. Transformarea $\bar{x} \rightarrow x$ constituie, în acest caz, transformarea inversă a lui $x \rightarrow \bar{x}$.

De exemplu, transformarea lineară și omogenă

$$\bar{x}^i = a_j^i x^j; (i, j = 1, 2, \dots, n),$$

în care a_j^i sunt constante date, e nesingulară dacă determinantul $a = |a_j^i|$ e diferit de zero. Notând cu A_j^i minorul normalizat al lui a_j^i în determinantul a , ținând seamă că

$$a_j^i A_k^i = \delta_j^k, \quad a_j^i A_i^l = \delta_j^l$$

(δ_j^i fiind simbolul lui Kronecker), adică $\delta_j^j = 1$ când

$i=l$ și $\delta_j^l = 0$ când $j \neq l$, înmulțind transformarea considerată cu A_k^j și sumând după indicele j , se obține transformarea inversă, sub forma

$$x^i = A_j^i \bar{x}^j,$$

și e dată tot de relații lineare și omogene.

În cazul a două plane π și π' , în cari (x, y) și (x', y') sunt coordonate cartesiene, o transformare punctuală e definită prin formulele

$$x' = f(x, y), \quad y' = g(x, y),$$

unde f și g sunt funcțiuni definite în tot planul π sau într'o porțiune (domeniu) din el. Dacă funcțiunile f și g sunt continue, iar correspondența e biunivocă, se obține transformarea topologică a planului π pe planul π' .

Cele mai multe transformări punctuale plane sunt transformarea prin inversiune și transformarea omografică. Ele au proprietatea de a transforma două curbe tangente în două curbe de asemenea tangente.

Pe dreptă, exemplul cel mai simplu de transformare punctuală (în același timp și topologică) îl constituie proiectivitățile (omografiile), caracterizate prin proprietatea de a păstra biraporturile

$$x' = \frac{ax+b}{cx+d}.$$

2. $\sim$ topologică [топологическое преобразование; transformation topologique; topologische Umwandlung; topological transformation; topologiai átalakítás]: Correspondență $y=f(x)$ biunivocă și bicontinuu (sau topologică) între două spații X și Y .

Două spații, sau două mulțimi aparținând sau nu unui aceluiași spațiu, între cari se poate stabili o correspondență topologică, se numesc omeomorfe. Spațiile (sau mulțimile) sunt considerate, în acest caz, ca topologic echivalente. În topologie, omeomorfia are rolul egalității a două figuri în geometria euclidiană elementară, al echivalenței proiective în geometria proiectivă, sau al reprezentării cu păstrarea unghiurilor în geometria conformă.

Proprietățile topologice ale unei mulțimi sau ale unui spațiu (adică acelea cari rămân invariante printr'o transformare topologică oarecare) sunt proprietăți pur calitative ale figurilor, cari fac apel numai la continuitate și nu la noțiunea de măsură.

1. Transformare [преобразование; transformation; Umwandlung; transformation; átalakítás].

3. Geom.: Correspondență biunivocă între elementele (punctele) unei mulțimi care constituie un spațiu (sau o varietate) cu un anumit număr de dimensiuni.

Dacă spațiul e n -dimensional, raportat la coordonatele $x^1, x^2, \dots, x^n$, o transformare are forma

$$(T) \quad y^i = f^i(x^1, x^2, \dots, x^n), (i = 1, 2, \dots, n),$$

unde y^i sunt coordonatele punctului corespondent lui x^i , iar f^i sunt funcțiuni definite în întregul spațiu sau într'un domeniu din el, continue și derivabile.

Presupunând că determinantul funcțional al transformării (jacobianul) e diferit de zero, relațiile $(T^{-1}) \quad x^k = x^k(y^1, y^2, \dots, y^n)$, ($k = 1, 2, \dots, n$) definesc transformarea T^{-1} , inversă transformării T . Notând cu $M(x^i)$ punctul de coordonate x^i și cu $N(y^i)$ corespondentul său prin T , transformarea T^{-1} face să corespundă lui N , punctul M . Legătura dintre punctele M și N , transformate unul în altul prin corespondența T^{-1} , T , — se scrie

$$N = T(M), \quad M = T^{-1}(N).$$

Fie transformarea T și o altă $\bar{T}$, definită de formulele

$$(\bar{T}) \quad z^i = \bar{\varphi}^i(y^1, y^2, \dots, y^n);$$

aceasta din urmă face ca punctul $N(y^i)$ să corespundă punctului P de coordonate $(z^1, z^2, \dots, z^n)$. Corespondența dintre punctele M și P , care se stabilește în acest fel, se numește transformarea produs a transformărilor $T, \bar{T}$, — și se notează cu $T\bar{T}$. Schimbând notațiile și notând coordonatele punctului P cu $(y^1, y^2, \dots, y^n)$, se poate scrie

$$y^i = \bar{\varphi}^i(t^1, t^2, \dots, t^n)$$

și aceste relații definesc transformarea produs $T\bar{T}$.

În particular, transformarea dată prin relațiile

$$(\bar{E}) \quad y^1 = x^1, \quad y^2 = x^2, \dots, y^n = x^n$$

se numește transformarea identică sau transformarea unitate și se notează cu E .

Aceasta face ca fiecare punct al spațiului sau al varietății să-și corespundă lui însuși. E clar că

$$T \circ T^{-1} = E; \quad (T^{-1})^{-1} = T.$$

1. Transformare de coordonate [преобразование координат; transformation des coordonnées; Umrechnung von Koordinaten; transformation of coordinates; koordináta-átalakítás]: Corespondență biunivocă și bicontinuu între sistemul de coordonate $(x^1, x^2, \dots, x^n)$ și sistemul de variabile $(y^1, y^2, \dots, y^n)$ ale unui spațiu X_n cu n dimensiuni, definită prin formule de forma

$$y^i = f^i(x^1, x^2, \dots, x^n), \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

unde f^i sunt funcțiuni continue și univoce, admitând formulele inverse

$$x^i = \varphi^i(y^1, y^2, \dots, y^n),$$

φ^i fiind de asemenea funcțiuni continue și univoce, variabilele y^i constituind ele însele un sistem de coordonate.

Interpretând pe y^i drept coordonate într'un spațiu Y_n , aceste formule realizează o corespondență bicontinuuă și biunivocă între cele două spații X_n și Y_n .

De asemenea, dacă x^i sunt coordonatele cartesiene ale unui punct din spațiul euclidian cu n dimensiuni E_n , rezultă că există o corespondență bicontinuuă și biunivocă, deci o transformare topologică, între punctele P ale spațiului X_n și punctele Q ale spațiului E_n , deoarece se poate realiza o corespondență biunivocă și bicontinuuă

între X_n și E_n , luând, drept puncte corespondente P, Q în cele două spații, punctele cari au aceleași coordonate $(x^1, x^2, \dots, x^n)$. Se mai spune că spațiul X_n e imaginea topologică a spațiului euclidian E_n .

Interpretând transformarea precedentă ca o transformare de coordonate într'un spațiu euclidian E_n , în care x^i sunt coordonate cartesiene, coordonatele y^i nu mai sunt cartesiene decât dacă funcțiunile f^i sunt lineare în x^i . În general, y^i constituie coordonate curbilinii în E_n . De asemenea, dacă y^i sunt coordonate cartesiene într'un spațiu E'_n , transformarea considerată constituie o corespondență biunivocă și bicontinuuă a punctelor din cele două spații E_n și E'_n . În această corespondență, varietăților lineare cu una, două, ..., $(n-1)$ dimensiuni (drepte, plane, ..., hiperplane) ale spațiului E_n le corespund, în general, varietăți curbe cu una, două, ..., $(n-1)$ dimensiuni (curbe, suprafețe, ..., hipersuprafețe) în spațiul E'_n .

Dintre transformările de coordonate, următoarele au proprietăți remarcabile:

2. ~ afină [аффинное преобразование; transformation affine; Affinierungsumwandlung; refining (affined) transformation; affin átalakítás]: Transformare definită prin relații lineare

$$x^i = a_j^i x^j + a^i, \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

în cari a_j^i și a^i sunt constante date, având determinantul $|a_j^i| \neq 0$.

Ele formează un grup finit cu $n(n+1)$ parametri.

Printr'o transformare afină sau afinitate, un vector contravariant constant se transformă într'un vector contravariant constant; același lucru se întâmplă cu un vector covariant constant sau cu un tensor constant.

Un spațiu X_n , ale cărui proprietăți au un caracter invariant față de transformările afine de coordonate, e un spațiu euclidian afin E_n .

Coordonatele $x^1, x^2, \dots, x^n$ se numesc coordonate cartesiene ale spațiului afin E_n .

Într'un spațiu afin, proprietatea unui vector sau a unui tensor de a avea coordonate constante în raport cu un sistem de coordonate cartesiene, constituie o proprietate afină a vectorului sau a tensorului considerat.

Printr'o transformare afină, o varietate lineară

$$A_i^h x^i = c^h, \quad (h = 1, 2, \dots, m < n),$$

în care A_i^h, c^h sunt constante, se transformă într'o varietate lineară.

Dacă coeficienții a^i sunt nuli, transformările considerate păstrează originea și se numesc transformări centroafine.

În particular, când determinantul $|a_j^i| = 1$, transformările afine se numesc transformări afine

unimodulare, iar pentru cazul $a^i = 0$, transformări centroafine unimodulare.

Într'un spațiu E_3 , raportul ariilor a două figuri e un invariant față de o transformare afină, deoarece raportul dintre aria unei figuri și aria figurii transformate e egal cu modulul transformării. Dacă acest modul e pozitiv, ariile au același semn, deci conturile lor sunt descrise în același sens (afinitate directă). Dacă modulul e negativ, afinitatea e indirectă sau inversă: conturile sunt descrise în sensuri opuse.

Afinitățile directe formează un grup, iar cele inverse nu formează grup, deoarece produsul a două afinități inverse e o afinitate directă.

Când modulul transformării e egal cu unitatea, deci pentru transformările afine unimodulare, ariile figurilor rămân invariante — și grupul afin respectiv depinde de cinci parametri.

1. Transformare corelativă [коррелятивное преобразование; transformation corrélative; korrelative Umwandlung; correlative transformation; korrelativ átalakítás]: Correspondență biunivocă între două spații euclidiene E_n și E'_n , astfel că unui punct din E_n îi corespunde un hiperplan în E'_n . Ea e definită prin relațiile:

$$\rho \xi^i = \sum_j a_j^i x^j \quad (i, j = 0, 1, 2, \dots, n),$$

x^j fiind coordonate omogene în spațiul E_n ; ξ^i , coordonate tangențiale omogene în E'_n ; ρ , un factor de proporționalitate constant, iar a_j^i , constante reale date, cu determinantul $|a_j^i| \neq 0$.

Corelațiile nu formează grup, deoarece produsul a două corelații nu mai e o corelație.

În cazul a două spații E_3 și E'_3 , unor plane cari trec printr'un punct le corespund puncte situate într'un plan, iar unor puncte situate pe o dreaptă d le corespund plane cari trec printr'o dreaptă d' , corespondența dintre punctuala d și fasciculul de axă d' fiind proiectivă. Sin. Corelație.

2. ~ de conexiune [связное преобразование; transformation de connexion; Verbindungs-umwandlung; connection transformation; konexió-átalakítás]: Trecerea dela coeficienții de conexiune $\Gamma_{jk}^i(x)$, în variabilele $x^1, x^2, \dots, x^n$, ai unui spațiu cu conexiune n -dimensional X_n , la coeficienții $\Gamma_{jk}^i(x')$, în variabilele $x'^1, x'^2, \dots, x'^n$, când se face o transformare de variabile

$$x'^i = x'^i(x^1, x^2, \dots, x^n); \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Pentru un spațiu cu conexiune afină A_n , transformarea e de forma

$$\frac{\partial^2 x'^i}{\partial x^j \partial x^k} = \sum_{r,s} \Gamma_{rs}^i \frac{\partial x'^r}{\partial x^j} \frac{\partial x'^s}{\partial x^k} - \sum_r \Gamma_{jk}^r \frac{\partial x'^i}{\partial x^r},$$

toții indicii variind în sume dela 1 la n .

În aceste formule intervin nu numai derivatele de primul ordin într'un punct $\frac{\partial x'^i}{\partial x^j}$, ca în cazul

transformării tensiunilor, ci și derivatele de ordinul al doilea $\frac{\partial^2 x'^i}{\partial x^j \partial x^k}$. Formulele de transformare a conexiunii pot fi rezolvate, fie în raport cu Γ_{jk}^i , fie în raport cu Γ_{jk}^i .

3. ~ de conexiune proiectivă, a lui Weyl [проективное преобразование уейля; transformation projective de connexion de W.; projektive Verbindungsumwandlung von W.; projective connexion transformation of W.; W. konexió-átalakítás]: Transformare a componentelor unei conexiuni afine $\Gamma_{jk}^i(x)$ într'un spațiu A_n , definită de formulele

$$\Gamma_{jk}^i = \Gamma_{jk}^i + \delta_j^i \psi_k + \delta_k^i \psi_j,$$

ψ_k fiind un vector arbitrar, iar δ_k^i , simbolul lui Kronecker ($\delta_k^i = 1$ pentru $k=i$ și $\delta_k^i = 0$ pentru $k \neq i$). O astfel de transformare lasă invariante curbele autoparalele ale spațiului A_n , și se numește transformare proiectivă de conexiune, prin analogie cu faptul că transformarea care păstrează dreptele, curbele autoparalele ale unui spațiu euclidian, sunt transformările proiective.

4. ~ proiectivă [проективное преобразование; transformation projective; projektive Umwandlung; projective transformation; projektiv átalakítás]: Correspondență definită prin transformările lineare generale

$$x'^i = \frac{\sum a_k^i x^k + a^i}{\sum a_k^i x^k + a^0}, \quad (i, k = 1, 2, \dots, n).$$

Ele formează un grup cu $(n+1)^2 - 1$ parametri și au proprietatea de a păstra, ca și afinitățile, varietățile lineare.

Deosebirea față de transformările afine consistă în faptul că, în timp ce afinitățile păstrează elementele dela infinit ale spațiului euclidian E_n , transformările proiective (proiectivitățile) pot aduce elementele dela infinit la distanță finită — și invers, pot duce elementele dela distanță finită, la infinit. Proprietățile spațiului E_n , invariante față de transformările proiective, se numesc proprietăți proiective.

O corespondență proiectivă (sau omografică) între două spații S_n și S'_n cu n dimensiuni (distincte sau nu) se scrie, în coordonate omogene, sub forma

$$\rho x'^i = \sum a_j^i x^j, \quad (i, j = 0, 1, 2, \dots, n),$$

unde x^i, x'^i sunt coordonatele omogene în S_n și S'_n respectiv, a_j^i sunt constante reale cu determinant nenul, iar ρ e un factor de proporționalitate constant.

În cazul a două spații tridimensionale, o astfel de transformare se numește omografie spațială. Omografiile spațiale formează un grup care depinde de 15 parametri. Ele transformă o dreaptă

într-o dreaptă și un plan într'un plan, dreptele și planele rezultând în corespondență proiectivă — și sunt determinate dacă se dau cinci perechi de puncte corespondente.

Pentru plan, grupul transformărilor omografice sau al colineațiilor depinde de opt parametri (esențiali), o transformare a lui fiind determinată prin patru perechi de drepte corespondente.

Pe dreaptă, transformările omografice se scriu, în coordonate neomogene, sub forma

$$x' = \frac{ax+b}{cx+d}, \quad (ad-bc \neq 0).$$

Deci, mulțimea lor depinde de trei parametri esențiali, ele au proprietatea remarcabilă de a păstra biraporturile, fapt care face ca aceste transformări să aibă un rol esențial în geometria proiectivă.

1. Transformare infinitezimală [бесконечно-малое преобразование; transformation infinitésimale; Infinitesimalumwandlung; infinitesimal transformation; infinitézimális átalakítás]: Transformare obținută din dezvoltarea în serie (convergentă) a noilor variabile y^i după puterile parametrilor a , păstrând numai termenii de primul ordin în a .

În cazul transformărilor cu un parametru, transformarea lor infinitezimală e

$$y^i = x^i + a \xi^i(x), \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

căreia i se asociază expresiunea lui Lagrange

$$X(f) = \sum_i \xi^i \frac{\partial f}{\partial x^i},$$

sau operatorul

$$X = \sum_i \xi^i \frac{\partial}{\partial x^i}.$$

Dacă familia formează un grup, acesta e complet determinat de transformările infinitezimale ale familiei.

2. ~ pătratică [квадратическое преобразование; transformation quadratique; quadratische Umwandlung; quadratic transformation; négyzetes átalakítás]: Transformare rațională

$$x'^i = \varphi^i(x^1, x^2, \dots, x^n), \quad (i=1, 2, \dots, n),$$

în care funcțiunile φ^i sunt câțuri de câte două polinoame de gradul al doilea în $x^1, x^2, \dots, x^n$, cu același numitor.

În cazul a două plane π și π' , o transformare pătratică se scrie (în coordonate cartesiene ortogonale) sub forma

$$x' = \frac{f^1(x, y)}{f(x, y)}, \quad y' = \frac{f^2(x, y)}{f(x, y)},$$

cu f^1, f^2, f polinoame de gradul al doilea în x, y ; ea e birațională dacă conicele

$$f^1 = f^2 = f = 0$$

determină o rețea, având trei puncte fixe. Dacă aceste puncte sunt distincte între ele, ceea ce se întâmplă în general, transformarea birațională pătratică se poate reduce, utilizând coordonatele proiective, la forma canonică

$$x'^i = \frac{1}{x^i}, \quad (i=1, 2, 3).$$

Aceste formule pun în evidență faptul că transformarea e bipătratică, deci unei drepte în planul π îi corespunde o conică în planul π' , toate aceste conice formând, de asemenea, o rețea.

3. ~ rațională [рациональное преобразование; transformation rationelle; rationale Umwandlung; rational transformation; rationalis átalakítás]: Corespondență între două spații lineare cu n dimensiuni, S, S' (spații euclidiene cu n dimensiuni), astfel că, x și x' fiind două puncte de coordonate neomogene $(x^1, x^2, \dots, x^n)$ și $(x'^1, x'^2, \dots, x'^n)$, în cele două spații, coordonatele unui punct variabil dintr'un spațiu, de exemplu din spațiul S' , sunt funcțiuni raționale de coordonatele punctului corespunzător din celălalt spațiu S . O astfel de transformare e definită de relații de forma

$$x'^i = \varphi^i(x^1, x^2, \dots, x^n), \quad (i=1, 2, \dots, n),$$

funcțiunile $\varphi^i(x)$ fiind raționale.

Unui punct x aparținând lui S , ale cărui coordonate nu anulează numitorii funcțiilor raționale φ^i , îi corespunde un punct bine determinat x' aparținând lui S' . Dacă jacobianul transformării e diferit de zero, se poate exprima x în funcțiune de x' . În general, x e o funcțiune algebrică de x' din S' , și unui x' fix îi corespund $k \geq 1$ puncte x din S . Când $k=1$, funcțiunea algebrică inversă e și uniformă, și deci rațională. În acest caz se poate scrie

$$x^i = \psi^i(x'^1, x'^2, \dots, x'^n)$$

cu ψ^i funcțiuni raționale de x' , și între cele două spații există, în acest caz, o transformare birațională (cremoniană).

Pentru două spații S, S' tridimensionale, coordonatele cartesiene ortogonale x'^i ale unui punct din S' se exprimă printr'o transformare rațională în funcțiune de x^i (coordoate cartesiene ortogonale în S), prin formulele

$$x'^i = \frac{f^i(x^1, x^2, x^3)}{f(x^1, x^2, x^3)}, \quad (i=1, 2, 3),$$

f^i și f fiind polinoame cari au cel mult gradul n . Transformarea e rațională de gradul n . Unui plan π' din S' îi corespunde în spațiul S o suprafață algebrică de gradul n ; deci unei drepte (întrețâierii a două plane) îi corespunde o curbă algebrică de gradul n^2 , anume curba de întretăiere a două suprafețe algebrice de gradul n . De asemenea, punctului de întretăiere P' a trei plane îi corespund punctele de întretăiere a trei suprafețe algebrice de gradul n , deci n^3 puncte P în planul π . Dacă printre punctele P sunt n^3-1 fixe și numai unul e variabil, corespondența dintre P și P' e biunivocă, iar transformarea e birațională. În cazul când funcțiunile f^i, f sunt polinoame de gradul al doilea, transformarea e pătratică și va fi o transformare birațională, dacă sistemul de cuadrice

$$f^1 = f^2 = f^3 = f = 0,$$

e un sistem omaloidic (adică dacă cuadricele au un punct și o conică fixă, sau trei puncte fixe

și conțin o dreaptă comună, ori sunt tangente unui plan într'un punct dat).

Transformările biraționale plane transformă o curbă algebrică într-o curbă algebrică, gradele celor două curbe fiind, în general, diferite. De aceea, transformările biraționale se utilizează în teoria curbelor algebrice, pentru transformarea unei curbe de un anumit grad în altă curbă de un alt grad, fapt de important în studiul singularităților curbelor plane. Ele păstrează însă genul curbelor, care e deci un invariant.

1. Transformare omotetică. V. Omotetie.
2. $\sim$ prin inversiune. V. Inversiune.
3. $\sim$ prin polare reciproce. V. Polaritate.

4. **Transformare lineară** [линейное преобразование; transformation linéaire; Linearumwandlung; linear transformation; lineáris átalakítás]: Corespondență, într'un spațiu linear n -dimensional (complex sau real) R , între un vector x și un alt vector al său y , exprimată prin relația $y=A(x)$, astfel încât sunt îndeplinite următoarele condițiuni:

$$A(x_1+x_2)=A(x_1)+A(x_2); A(\lambda x)=\lambda A(x),$$

λ fiind un număr. Se scrie și $y=Ax$.

De exemplu, considerând spațiul euclidian tridimensional R , transformarea care consistă în rotația lui R în jurul unei axe care trece prin origine e o transformare lineară. Tot așa, Π' fiind un plan din R , dacă facem să-i corespundă fiecărui vector x proiecția sa $x'=A(x)$ pe acest plan, se obține tot o transformare lineară. Prima condițiune, de exemplu, spune că proiecția e egală cu suma proiecțiilor.

Printre transformările lineare, următoarele transformări simple au un rol special: transformarea identică E , care face ca fiecărui vector x să-i corespundă el însuși: $E(x) \equiv x$, și transformarea nulă 0 , care face ca fiecărui vector x să-i corespundă vectorul nul: $0(x) \equiv 0$.

Pentru orice transformare lineară A într'un spațiu linear real R , există un subspațiu invariant unidimensional sau bidimensional.

Două transformări lineare A și B , cari îndeplinesc condițiunea $AB=BA$, se numesc transformări lineare permutabile.

Dacă A și B sunt două transformări lineare permutabile, mulțimea tuturor vectorilor proprii ai lui A , corespunzător unei valori proprii date λ , formează (împreună cu vectorul nul) un subspațiu R_λ , care e invariant față de B .

Un vector x se numește vector propriu al unei transformări lineare A , dacă $Ax=\lambda x$; λ e o valoare proprie a lui A .

Două transformări permutabile au un vector propriu comun. De asemenea, A și B fiind două transformări lineare autoadjuncte într'un spațiu complex n -dimensional R , pentru ca R să admită o bază ortogonală, în care cele două transformări să se reducă simultan la forma diagonală, e necesar și suficient ca A și B să fie permutabile.

3. $\sim$ **lineară adjuncată** [линейное подчиненное преобразование; transformation linéaire adjointe; hinzugefügte Linearumwandlung; adjoined linear transformation; adjungált lineáris átalakítás]: Transformarea A^* definită prin condițiunea

$$(Ax, y) = (x, A^*y),$$

A fiind o transformare lineară a unui spațiu euclidian complex, iar $(Ax, y) = A(x, y)$, o formă bilineară.

Prin spațiu euclidian complex se înțelege un spațiu linear complex, adică un spațiu pe câmpul numerelor complexe, în care s'a definit produsul scalar (x, y) a doi vectori x și y .

Într-o bază ortogonală, matricea transformării adjuncate A^* se obține din matricea transformării A , prin trecerea la matricea transpusă și înlocuirea elementelor sale cu conjugatele lor.

Operațiunea (*) de trecere dela transformarea A la transformarea adjuncată A^* e legată de operațiunile de adunare și de înmulțire a transformărilor lineare, prin următoarele relații: $(AB)^* = B^*A^*$, $(A^*)^* = A$; $(A+B)^* = A^*+B^*$; $(\lambda A)^* = \bar{\lambda}A^*$; $E^* = E$.

Când spațiul R e real, o transformare lineară A e autoadjuncată dacă $(Ax, y) = (x, Ay)$, oricari ar fi vectorii x și y . Pentru ca o transformare A să fie adjuncată, e necesar și suficient ca, într'o bază ortonormală, matricea ei să fie simetrică. Orice transformare autoadjuncată admite un subspațiu invariant unidimensional. De asemenea, există o bază ortonormală în care matricea unei transformări autoadjuncte A e o matrice diagonală.

6. $\sim$ **lineară autoadjuncată** [самоподчиненное линейное преобразование; transformation linéaire autoadjointe; selbsthinzugefügte Linearumwandlung; autoadjoined linear transformation; autoadjungált lineáris átalakítás]: Transformare lineară A egală cu adjuncata ei A^* ($A^*=A$). Dacă forma bilineară (Ax, y) e hermitiană (v.), transformarea lineară A e autoadjuncată, și reciproc.

Orice transformare lineară A poate fi pusă sub forma $A=A_1+iA_2$, ($i^2=-1$), unde A_1 și A_2 sunt transformări autoadjuncte. Deci, transformările autoadjuncte au printre transformările lineare un rol analog cu cel al numerelor reale printre numerele complexe. Ele se întâlnesc foarte des în diferite aplicații și, considerate într'un spațiu cu o infinitate de dimensiuni, au un rol esențial în mecanica cuantică (v. Cuantică, mecanică $\sim$).

Pentru orice transformare lineară autoadjuncată există o bază ortogonală de vectori, în care matricea ei e o matrice diagonală. — Sin. Transformare hermitiană.

7. $\sim$ **lineară normală** [нормальное линейное преобразование; transformation linéaire normale; normale lineare Umwandlung; normal linear transformation; normál lineáris átalakítás]: Transformare lineară A , pentru care $AA^*=A^*A$, unde A^* e adjuncata lui A . Atât transformările autoadjuncte, cât și cele unitare, sunt cazuri particulare ale transformărilor normale.

Orice transformare lineară A care se reduce, într-o bază ortogonală, la forma diagonală, e normală, și invers.

O transformare normală A poate fi scrisă sub forma $A=HU=UH$, unde H e o transformare autoadjunctă, U e o transformare unitară, iar H și U sunt permutabile. De asemenea, dacă $A=HU$, unde H e o transformare hermitiană, iar U o transformare unitară, transformarea A e normală.

1. Transformare lineară ortogonală [линейно-ортогональное преобразование; transformation linéaire orthogonale; rechtwinkelige lineare Umwandlung; orthogonal linear transformation; ortogonális lineáris átalakítás]: Transformare lineară A într'un spațiu euclidian real n -dimensional R , care păstrează produsul scalar a doi vectori, adică $(Ax, Ay) = (x, y)$ pentru toți x, y aparținând lui R .

Deoarece pentru $x=y$ se obține $|Ax|^2 = |x|^2$, rezultă că o transformare ortogonală păstrează lungimile vectorilor. De asemenea, o astfel de transformare conservă unghiurile dintre vectori.

Fie $e_1, e_2, \dots, e_n$ vectorii unei baze ortogonale în R . Transformarea A păstrând unghiurile dintre vectori și lungimile lor, vectorii $Ae_1, Ae_2, \dots, Ae_n$ formează de asemenea o bază ortogonală, adică $(Ae_i, Ae_k) = \delta_{ik}$, δ_{ik} fiind simbolul lui Kronecker: $\delta_{ik}^i = 1$ când $k=i$ și $\delta_{ik}^i = 0$ când $k \neq i$. Notând cu $|x_{ik}|$ matricea transformării în baza ortogonală $e_1, e_2, \dots, e_n$, condițiunea precedentă se scrie sub forma $\sum_i a_{ij} a_{ik} = \delta_{jk}$, ceea ce constituie condițiuni suficiente pentru ca transformarea să fie ortogonală.

Sumele $\sum_i a_{ij} a_{ik}$ fiind elementele produsului matricei lui A cu transpusa ei, condițiunea $\sum_i a_{ij} a_{ik} = \delta_{jk}$

spune că produsul matricei cu transpusa ei e matricea unitate. Deoarece determinantul unui produs de matrice e egal cu produsul determinantilor lor, urmează că pătratul determinantului matricei unei transformări ortogonale e egal cu 1, adică determinantul simplu e egal cu ± 1 .

Transformările ortogonale al căror determinant e egal cu $+1$ se numesc proprii, iar cele al căror determinant e egal cu -1 , improprii. Această clasificare e legată de faptul că o transformare ortogonală, care se poate obține cu ajutorul unei funcțiuni continue din transformarea unitate, e neapărat proprie. Reciproc orice transformare ortogonală proprie poate fi obținută din transformarea unitate, printr-o variație continuă.

Produsul a două transformări ortogonale, ambele proprii sau improprii, e o transformare ortogonală proprie, iar produsul unei transformări proprii cu una improprie e o transformare ortogonală improprie.

Studiul transformărilor ortogonale într'un spațiu n -dimensional se reduce la cel al transformărilor ortogonale în spațiul uni- și bidimensional. Primele sunt date de $Ax \equiv x$ și $Ax \equiv -x$, adică o transformare proprie și cealaltă improprie. Pentru

cele de al doilea, matricea oricărei transformări ortogonale proprii, într'o bază ortonormală, e de forma

$$\begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix},$$

adică o rotație cu unghiul φ . Dacă transformarea e improprie, forma canonică a matricei ei e $\begin{pmatrix} \pm 1 & 0 \\ 0 & \mp 1 \end{pmatrix}$, deci o simetrie față de axe.

2. $\sim$ lineară pozitiv definită [линейно-положительное определенное преобразование; transformation linéaire définie positivement; positiv bestimmte lineare Umwandlung; positively defined linear transformation; pozitív határozott lineáris átalakítás]: Transformare lineară H autoadjunctă, astfel că $(Hx, x) \geq 0$ pentru orice x .

Oricare ar fi transformarea lineară A , transformarea AA^* (unde A^* e adjuncta lui A) e pozitiv definită. Dacă A e degenerată, același lucru se întâmplă și cu AA^* . De asemenea, dacă B e o transformare pozitiv definită, valorile ei proprii sunt nenegative. Reciproc, dacă toate valorile proprii ale unei transformări autoadjuncte B sunt nenegative, B e o transformare pozitiv definită.

3. $\sim$ lineară unitară [единое линейное преобразование; transformation linéaire unitaire; einheitliche lineare Umwandlung; unitary linear transformation; unitáris lineáris átalakítás]: Transformare lineară U , astfel încât $UU^* = U^*U = E$, unde U^* e adjuncta lui U . Din definiție rezultă că $U^* = U^{-1}$. O astfel de transformare se poate reprezenta ca produsul dintre o transformare autoadjunctă și transformarea unitate.

Într'un spațiu euclidian n -dimensional R , orice transformare unitară U invariază produsul scalar, adică $(Ux, Uy) = (x, y)$ pentru toți vectorii x, y cari aparțin lui R . Reciproc, dacă o transformare lineară păstrează produsul scalar, ea e unitară. Cum pentru $x=y$ se deduce $(Ux, Ux) = (x, x)$, urmează că o transformare unitară lasă invariante lungimile vectorilor.

4. Transformare de contact [преобразование прикосновения, контактное преобразование; transformation de contact; Kontaktumwandlung; contact transformation; kontakt-átalakítás]: Transformare definită prin relațiile:

$$\bar{x}^i = \bar{x}^i(x^1, \dots, x^n, z, p_1, \dots, p_n),$$

$$\bar{z} = \bar{z}(x^1, \dots, x^n, z, p_1, \dots, p_n),$$

$$\bar{p}_i = \bar{p}_i(x^1, \dots, x^n, z, p_1, \dots, p_n),$$

astfel ca să fie verificată identic egalitatea

$$d\bar{z} - \sum_i \bar{p}_i d\bar{x}^i = p(x^1, \dots, x^n, z, p_1, \dots, p_n)(dz - \sum_i p_i dx^i),$$

p_i fiind derivatele de primul ordin ale funcțiunii

$$z = z(x^1, x^2, \dots, x^n),$$

$\bar{p}_i$ cele ale funcțiunii $\bar{z} = \bar{z}(x^1, x^2, \dots, x^n)$ iar p , un factor de proporționalitate diferit de zero.

În cazul $n=2$, o astfel de transformare are proprietatea de a schimba două suprafețe tangente, în două suprafețe tangente, iar în plan ($n=1$), două curbe tangente în două curbe tangente.

Prin urmare, transformările punctuale sunt un caz particular al transformărilor de contact.

O transformare de contact care lasă invariant sistemul Pfaff (care se generalizează la n oarecare),

$$dz - p_1 dx^1 - p_2 dx^2 = 0,$$

$$dp_1 - p_{11} dx^1 - p_{12} dx^2 = 0,$$

$$dp_2 - p_{21} dx^1 - p_{22} dx^2 = 0,$$

se numește transformare de contact prelungită (de primul ordin), această noțiune extinzându-se, în anumite condițiuni.

1. Transformare Ampère [преобразование Ампера; transformation A.; A. Umwandlung; A. transformation; A. átalakítás]: Transformare de contact în spațiu, dată de formulele

$$X=x, Y=q, Z=qy-z$$

(cu aceleași notații ca la transformarea Legendre; v.). Se găsește, în primul rând, că $P=-p$, $Q=y$, și apoi

$$x=X, y=Y, z=QY-Z, p=-P, q=Y$$

ca formule inverse. Ea e deci o transformare de contact, și reciprocă.

Atât transformarea Legendre, cât și transformarea Ampère, au aplicații numeroase, între altele în studiul unor tipuri de ecuații diferențiale și de ecuații cu derivate parțiale de ordinul al doilea.

2. ~ Legendre [преобразование Лежандра; transformation L.; L. Umwandlung; L. transformation; L. átalakítás]: Transformare de contact plană, care face să corespundă unui punct (x, y) al unei curbe C , punctul de coordonate

$$X=x', Y=y'-y,$$

y' fiind derivata lui y în raport cu x .

Deoarece $Y'=x$, se deduc formulele inverse

$$x=Y', y=XY'-Y, y'=X,$$

cari arată că transformarea e de contact și reciprocă. Această ultimă proprietate se explică prin faptul că punctul (X, Y) e polul tangentei la curba C în punctul (x, y) , față de parabola $x^2=2y$.

În spațiu, transformarea Legendre face ca unui punct $M(x, y, z)$ al unei suprafețe $z=z(x, y)$ să-i corespundă punctul $\bar{M}(X, Y, Z)$ prin formulele

$$X=p, Y=q, Z=px+qy-z,$$

p și q fiind derivatele de primul ordin al funcțiunii $Z(x, y)$ în notația lui Monge.

Dacă $Z=Z(X, Y)$ e ecuația suprafeței descrise de punctul $\bar{M}$, iar P, Q sunt derivatele parțiale prime ale lui $Z(X, Y)$, se găsește că $P=x$, $Q=y$, iar formulele inverse sunt:

$$x=P, y=Q, z=Px+Qy-Z, p=X, q=Y;$$

deci transformarea e de contact și reciprocă, ceea ce se explică observând că aceste formule definesc o transformare prin polare reciproce, relativă la paraboloidul $2z=x^2+y^2$.

De asemenea, derivatele r, s, t de ordinul al doilea ale lui $Z(x, y)$ se exprimă în funcțiune de R, S, T prin formule reciproce, ca și cele precedente.

3. Transformare Laplace [преобразование Лапласа; transformation L.; L. Umwandlung; L. transformation; L. átalakítás]: Schimbare de funcțiune necunoscută z , într-o ecuație Laplace

$$(L) \quad s+ap+bq+cz+d=0,$$

cu invarianti b, k nenuli, definită de relația

$$z_1=q+az \text{ sau } z_{-1}=p+bz.$$

z_1 (sau z_{-1}) obținută printr-o astfel de transformare, satisfac tot o ecuație Laplace

$$(L_1) \quad s_1+a_1p_1+b_1q_1+c_1z_1+d_1=0$$

și integrarea uneia din cele două ecuații atrage și integrarea celeilalte.

Notând cu b_1, k_1 (respectiv b_{-1}, k_{-1}) invariantii relativi ai noii ecuații, dacă $b_1 \neq 0$ de exemplu, se poate face o nouă transformare, de același tip, etc.

Se obține, în acest fel, un șir de funcțiuni, în general nelimitat în ambele sensuri

$$\dots, z_{-n}, \dots, z_{-2}, z_{-1}, z, z_1, z_2, \dots, z_n, \dots,$$

numit șirul lui Laplace. Acesta se oprește când unul dintre invariantii b_i, k_i , e nul și când ecuația inițială e integrabilă.

4. Transformare Lorentz [преобразование Лоренца; transformation L.; L. Umwandlung; L. transformation; L. átalakítás]: Transformare lineară și omogenă a variabilelor x_0, x_1, x_2, x_3 cu coeficienți constanți reali, de forma:

$$y_i = \sum_j a_{ij} x_j, \quad (i, j=0, 1, 2, 3), \quad (|a_{ij}| \neq 0)$$

care lasă invariantă forma pătratică

$$x_0^2 - x_1^2 - x_2^2 - x_3^2.$$

În cazul general, această transformare e rezultatul suprapunerii unei transformări ortogonale, cari transformă pe x_s în x'_s ($s=1, 2, 3$), a unei transformări Lorentz de formă particulară (în care x'_2, x'_3 rămân aceleași), operând asupra lui x'_1 în x''_1 , cu o eventuală schimbare de semn al lui x''_0 și, în fine, a unei transformări ortogonale a lui x'_0 în y_0 .

Dacă se transpune matricea fiecăreia dintre aceste transformări intermediare, se obține matricea unei transformări de același tip. Rezultă că transpusa matricei unei transformări Lorentz e de asemenea matricea unei transformări Lorentz. Cum produsul a două transformări Lorentz, ca și inversa, e tot o transformare Lorentz, urmează că mulțimea acestor transformări formează un grup.

Există o legătură strânsă între ecuația undelor

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2}$$

și transformarea Lorentz. În adevăr, orice transformare lineară nesingulară a variabilelor t, x_1, x_2, x_3 cu coeficienți reali constanți, care lasă invariantă forma ecuației undelor, e o combinație de transformări Lorentz, deplasări ale originii coordonatelor în spațiul (t, x_1, x_2, x_3) și transformări conforme în acest spațiu.

De asemenea, aceste transformări au o importanță deosebită în teoria relativității restrânse (v.).

1. Transformare conformă [конформное преобразование; transformation conforme; entsprechende Umwandlung; conformable transformation; konform átalakítás]: Correspondență biunivocă între punctele a două suprafețe S și S' în spațiul euclidian tridimensional, care păstrează unghiurile.

Dacă ds și ds' sunt elementele de arc corespondente pe cele două suprafețe, deci $ds^2 = E du^2 + 2F du dv + G dv^2$ și $ds'^2 = E' du'^2 + 2F' du' dv' + G' dv'^2$, u, v, u', v' fiind coordonate curbilinii pe S, S' , condițiile necesare și suficiente de conservare a unghiurilor sunt

$$\frac{E}{E'} = \frac{F}{F'} = \frac{G}{G'} = \lambda(u, v),$$

λ fiind o funcție determinată. Acestea pot fi înlocuite prin relația unică $ds' = \lambda ds$, exprimând că raportul elementelor de arc corespondente tinde către o limită independentă de diferențialele du, dv , când acestea tind către zero.

În cazul $\lambda=1$, transformarea păstrează atât unghiurile, cât și lungimile, și se numește transformare isometrică (v.). —

Problema determinării tuturor transformărilor între punctele a două suprafețe, cari să păstreze unghiurile, se reduce la determinarea a două funcțiuni $u = u(u, v)$, $v = v(u, v)$, astfel încât să existe identitatea

$$E du^2 + 2F du dv + G dv^2 \equiv \lambda^2 (E' du'^2 + 2F' du' dv' + G' dv'^2),$$

unde λ e o funcție nedeterminată de u, v . Din teoria ecuațiilor diferențiale rezultă că problema admite o infinitate de soluții.

Astfel, pentru ca o corespondență între punctele a două plane, definită de formulele

$$X = P(x, y), \quad Y = Q(x, y),$$

în cari (x, y) și (X, Y) sunt coordonate cartesiene ortogonale, să păstreze unghiurile, e necesar și suficient ca

$$dX^2 + dY^2 = \lambda^2(x, y) (dx^2 + dy^2),$$

funcțiunea $\lambda(x, y)$ fiind oarecare. Se găsește că funcțiunile P și Q trebuie să satisfacă condițiunile lui Cauchy:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial Q}{\partial y}, \quad \frac{\partial P}{\partial y} = -\frac{\partial Q}{\partial x}$$

și alte două, cari se obțin din acestea, schimbând pe Q în $-Q$.

Transformările, în număr infinit, cari se obțin astfel, se numesc și transformări conforme ale planului; ele sunt strâns legate de studiul funcțiilor de o variabilă complexă. În adevăr, orice funcțiune $f(z)$ de variabila complexă $Z = x + iy$, olomoră într'un domeniu D , definește o transformare conformă, în toate punctele lui D în cari derivata $f'(z)$ e diferită de zero (v. și sub Reprezentare conformă).

Admițând că funcțiunile P și Q de mai înainte sunt și continue, condițiunile lui Cauchy arată că transformarea conformă plană e definită de o funcțiune olomoră $f(z) = P(x, y) + iQ(x, y)$ sau de o funcțiune olomoră urmată de o simetrie în raport cu axa reală.

Următoarea teoremă, enunțată de Riemann, are un rol fundamental în teoria transformărilor conforme: Fiind dat, în planul complex z , un domeniu simplu conex D și în planul complex Z , un cerc C , există o funcțiune olomoră $Z = f(z)$, care stabilește o corespondență biunivocă între punctele din interiorul lui D și cele ale cercului C .

Transformările conforme au un rol important în special în Mecanica fluidelor, în Hidrodinamică, în Aerodinamică, în Electrostatică și în Magnetism.

Din condițiunile $E = \lambda E'$, $F = \lambda F'$, $G = \lambda G'$ rezultă în special că sistemele u, v isoterme pe suprafața S (când adică $E = G$, $F = 0$), se transformă în sisteme isoterme pe S' . — Presupunând că S și S' sunt raportate la sistemele isoterme de coordonate curbilinii (u, v) și (u_1, v_1) , elementele lor de arc sunt

$$ds = \lambda(u, v) (du^2 + dv^2), \quad ds' = \lambda'(u_1, v_1) (du_1^2 + dv_1^2).$$

Orice transformare conformă între S și S' se obține dacă se ia $u_1 + iv_1 = f(u + iv)$, unde f e o funcțiune analitică arbitrară, deoarece de aici se deduce $u_1 = u_1(u, v)$, $v_1 = v_1(u, v)$, și condițiunile lui Cauchy sunt satisfăcute. Această transformare arată că pe S sistemul isoterm (u, v) se transformă în sistemul isoterm (u_1, v_1) , care corespunde sistemului (u_1, v_1) de pe S' . — Problema reprezentării conforme a unei suprafețe S pe o altă S' se reduce deci la cunoașterea unui sistem isoterm pe prima suprafață și a unui sistem similar pe cea de a doua. — Prin faptul acesta, transformarea conformă a suprafețelor de rotație pe un plan prezintă o importanță deosebită în problema hărților. Pentru o suprafață de rotație S , având ecuațiile parametrice

$$x = f(u) \cos v, \quad y = f(u) \sin v, \quad z = g(u),$$

f și g fiind funcțiuni oarecare, elementul de arc se poate pune sub forma isotermă

$$ds^2 = \lambda^2(u) (du^2 + dv^2),$$

prin schimbarea de parametri

$$du_1 = \pm \frac{1}{f} (f'^2 + g'^2)^{1/2} du, \quad dv_1 = dv.$$

Transformarea care rezultă integrând aceste relații, $u_1 = u_1(u)$, $v_1 = v$, schimbă între ele curbele $u = \text{const.}$, adică paralele suprafeței S , și lasă meridianele neschimbate. Urmează că meridianele și paralelele formează pe S un sistem isoterm.

Reprezentarea conformă a suprafeței S pe plan se obține, luând $u_1 + iv_1 = F(x + iy)$ ($i = \sqrt{-1}$), F fiind o funcțiune analitică arbitrară, iar x, y , coordonatele cartesiene ortogonale în plan.

Luând $u_1 = x$, $v_1 = y$ sau $u_1 = \log p$, $v_1 = \vartheta$ cu $\rho = (x^2 + y^2)^{1/2}$, $\vartheta = \arctg \frac{y}{x}$, corespondența de

mai sus și $u_1 + iv_1 = F(\log \rho \pm i \vartheta)$ reprezintă conform suprafața de rotație pe plan, dacă F e o funcțiune analitică. În primul caz, paralelele $u_1 = \text{const.}$ se transformă în dreptele $x = \text{const.}$, iar meridianele $v_1 = \text{const.}$, în dreptele $y = \text{const.}$, cari formează un sistem isoterm în plan. În al doilea caz, paralelele $u_1 = \text{const.}$ se transformă în cercuri concentrice

log $\rho = \text{const.}$, iar meridianele $v_1 = \text{const.}$, în drepte trecând prin origine: $\theta = \text{const.}$, formând de asemenea un sistem isoterm.

O dreaptă oarecare din plan intersectează, în prima reprezentare ($u_1 = x$, $v_1 = y$), dreptele $y = \text{const.}$ sub același unghi și are drept imagine pe suprafața de rotație S o curbă care intersectează meridianele sub un unghi constant, numită loxodromă. Orice triunghi de pe S , format cu arce de loxodromă, are suma unghiurilor egală cu 2π , deoarece, în reprezentarea conformă pe plan, îi corespunde un triunghi având unghiurile egale cu ale sale.

În cazul particular în care suprafața S e o sferă sau un elipsoid de rotație, problema reprezentării conforme pe un plan servește la construirea hărților globului pământesc, care păstrează unghiurile și transformă porțiunile mici, de pe glob, în figuri asemenea, în plan.

Notând cu u latitudinea și cu v longitudinea, ecuațiile parametrice ale sferei sunt:

$$x = \sin u \cos v, \quad y = \sin u \sin v, \quad z = \cos u.$$

Transformarea $u_1 = u_1(u)$, $v_1 = v$ e dată, în acest caz, de formulele

$$u_1 = \ln \operatorname{tg} \frac{u}{2}, \quad v_1 = v \text{ sau } u_1 = \ln \operatorname{ctg} \frac{u}{2}, \quad v_1 = v.$$

Luând $x = \ln \operatorname{tg} \frac{u}{2}$, $y = v$ în planul xOy , meridianele sferei se transformă în drepte paralele cu axa Ox , iar paralelele, în drepte paralele cu axa Oy . Cum pentru $u=0$, $x \rightarrow \infty$, polul sferei se reprezintă în plan la infinit. Pentru $u = \frac{\pi}{2}$, $x=0$, dreptele din plan, corespunzând paralelelor, se depărtează din ce în ce între ele. Raportul de asemănare, într'un punct, e $\sin u$. Harta care se obține în modul acesta se numește hartă Mercator. În planul hărții, loxodromele sferei se transformă în linii drepte.

Pentru cazul al doilea, considerând în plan sistemul isotermic (ρ, θ) al coordonatelor polare

și punând $\rho = \operatorname{ctg} \frac{u}{2}$, $\theta = v$, în această corespondență, meridianele sferei se transformă în drepte care trec prin origine în plan, iar paralelele, în cercuri concentrice cu centrele în O . Reprezentarea se obține proiectând, din polul P al ecuatorului sferei, pe planul ecuatorului (luat ca plan xOy), toate punctele sferei, afară de polul P ; ea se numește proiecția stereografică polară.

1. Transformare Cisotii [преобразование; Чисотия; transformation C.; C. Umwandlung; C.'s transformation; C. átalakítás]: Transformare care permite reprezentarea conformă a unui domeniu D , pe cercul $|Z|=1$ din planul XOY .

Correspondentul z de pe frontiera lui D , al unui punct $Z = e^{i\theta}$ de pe cercul $|Z|=1$, e dat de formula

$$z - z_0 = i \int_{z_0}^Z \frac{e^{iG(z)}}{(Z-i)^2} dZ,$$

în care z_0 și Z_0 sunt afixele arbitrare ale celor două puncte cari vrem să-și corespundă, iar

$$G(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \alpha(\theta) \frac{e^{i\theta} + Z}{e^{i\theta} - Z} d\theta + i \log k, \quad (k > 0).$$

Deoarece în transformarea lui Cisotii intervine factorul arbitrar k , se poate face ca unei direcții date prin Z_0 să-i corespundă o direcție dată prin z_0 , sau ca unui punct al frontierei lui D să-i corespundă un punct dat de pe circumferența cercului. Funcțiunea $\alpha(\theta)$ nu e cunoscută; dacă însă D e mărginit de un contur polygonal închis, $\alpha(\theta)$ ia o valoare constantă pe diferitele porțiuni ale frontierei cercului $|Z|=1$, obținându-se astfel formula de transformare conformă a lui Schwartz-Christoffel, care permite reprezentarea conformă a unui poligon pe un cerc.

2. ~ Jukovski [преобразование Жуковского; transformation J.; J. Umwandlung; J.'s transformation; J. átalakítás]: Transformare conformă, definită prin relația

$$z = Z + \frac{R^2}{Z},$$

care are un rol deosebit în teoria profilurilor de aripi. Ea face să corespundă exteriorul cercului $|Z| \geq R$, cu planul xOy având tăietura $(-2R, 2R)$

pe axa Ox . Pentru $\rho \geq R$, $0 < \theta_0 < \frac{\pi}{2}$, imaginea punctelor unei semidrepte $\theta = \theta_0$ e un arc de hiperbolă situat în primul cadran, iar pentru $0 < \rho \leq R$, un arc din cadranul al patrulea. Interiorul cercului $|Z|=R$ corespunde și el planului xOy cu tăietura $(-2R, 2R)$ pe axa Ox . Circumferența lui are ca imagine chiar tăietura $(-2R, 2R)$.

Scriind transformarea sub forma

$$\frac{Z-2R}{Z+2R} = \left(\frac{Z-R}{Z+R} \right)^2,$$

se observă că un cerc care trece prin punctul $Z=R$ se transformă în două curbe C_1, C_2 trecând prin $z=2R$, astfel că unghiul lui C_1 cu C_2 e dublat. Aceași relație există și pentru $Z=-R$, deoarece derivata

$$\frac{dz}{dZ} = 1 - \frac{R^2}{Z^2} \text{ se anulează pentru } Z = \pm R.$$

3. Transformare circulară [круговое преобразование; transformation circulaire; Zirkularumwandlung; circular transformation; cirkuláris átalakítás]: Corespondență biunivocă între punctele planelor complexe z și Z , definită prin relația

$$Z = \frac{az+b}{cz+d}, \quad a, b, c, d \text{ fiind constante și având determinantul } ad-bc \text{ diferit de zero.}$$

O astfel de transformare păstrează mărimea și sensul unghiurilor a două curbe, cum și raporturile anarmonice. De asemenea, transformă cercurile în cercuri (considerând dreapta ca un caz particular al cercului), de unde și numirea de transformare circulară.

Dacă coeficienții a, b, c, d sunt constanți și reali, transformarea se numește fuchsiană.

Notând cu α, β punctele duble distincte ale transformării circulare, ea se poate pune sub forma

$$\frac{Z-\alpha}{Z-\beta} = k \frac{z-\alpha}{z-\beta}.$$

Transformarea e hiperbolică, dacă constanta k e reală (de ex. transformarea $Z = \frac{1}{z}$ și transformarea fuchsiană cu puncte duble reale distincte); transformarea e eliptică, dacă constanta k e complexă și $|k|=1$ (de ex. transformarea fuchsiană cu puncte duble imaginare); transformarea e loxodromică, dacă constanta k e complexă, iar $|k| \neq 1$. Când punctele duble α, β sunt confundate, transformarea e parabolică și are forma canonică

$$\frac{1}{Z-\alpha} = \frac{1}{z-\alpha} + b,$$

b fiind o constantă determinată.

Printr-o transformare circulară se poate transforma un cerc cu centrul în origine și raza 1, în el însuși — sau semiplanul superior axei reale, în cercul precedent, etc.

Astfel, transformarea $Z = e^{i\varphi} \frac{z-\alpha}{1-\alpha z}$, în care φ e real și punctul $z=\alpha$ se transformă în $Z=0$, transformă cercul de rază 1 cu centrul în O , în el însuși, în timp ce transformarea $Z = e^{i\varphi} \frac{z-\beta}{z-\beta}$ transformă semiplanul de deasupra axei reale, în cercul cu centrul în origine (punct care corespunde lui $z=\beta$), de rază egală cu unitatea.

Deoarece o transformare circulară păstrează unghiul a două curbe, urmează că ea e o transformare conformă, în afara punctelor $z = -\frac{d}{c}$ și $z = \infty$.

1. Transformare echivalentă [эквивалентное преобразование; transformation équivalente; äquivalente Umwandlung; equivalent transformation; egyenértékű átalakítás]: Correspondență între două suprafețe S, S' din spațiul euclidian cu trei dimensiuni, care păstrează ariile.

Suprafețele S, S' fiind raportate la același sistem de parametri u, v , care dă correspondența, iar E, F, G, E', F', G' , fiind coeficienții primelor lor forme fundamentale, condițiunea de echivalență e $EG - F^2 = E'G' - F'^2$.

În punctele corespondente ale lui S și S' , produsul modulelor principale de dilatație lineară e egal cu unitatea.

Transformările echivalente au un rol important în problema determinării hărții unei suprafețe S , pe un plan, cu condițiunea ca ariilor porțiunilor de suprafață de pe S să le corespundă în plan arii proportionale.

Notând cu $\vec{r} = \vec{r}(u, v)$ ecuația vectorială a suprafeței S și cu $\vec{r}_1 = \vec{r}_1(u, v)$ ecuația vectorială a planului π raportat la sistemul de coordonate

curbilinii u, v (originea reperului cartesian fiind luată în planul π), corespondențele precedente sunt date de ecuația cu derivate parțiale

$$\frac{\partial x_1}{\partial u} \frac{\partial y_1}{\partial v} - \frac{\partial x_1}{\partial v} \frac{\partial y_1}{\partial u} = f(u, v),$$

în care x_1, y_1 sunt coordonatele cartesiene în π , iar $f = \pm k \sqrt{EG - F^2}$, cu factorul k constant.

2. Transformare isometrică [изометрическое изменение; transformation isométrique; isometrische Umwandlung; isometrical transformation; izometrikus átalakítás]: Correspondență între două suprafețe S, S' din spațiul euclidian cu trei dimensiuni, astfel ca elementele de arc corespunzătoare, în punctele corespunzătoare, să fie egale, oricari ar fi direcțiile lor.

Presupunând că S și S' sunt raportate la același sistem de parametri u, v și notând cu E, F, G, E', F', G' coeficienții primelor lor forme fundamentale, condițiunile impuse de corespondență sunt $E=E', F=F', G=G'$.

Dacă S și S' sunt două suprafețe oarecare, o astfel de corespondență între ele nu e, în general, posibilă. Când e însă posibilă, S și S' se numesc aplicabile una pe alta.

În punctele corespondente a două suprafețe S și S' aplicabile, toate proprietățile care depind numai de prima formă fundamentală vor fi aceleași, atât pe S , cât și pe S' . Se spune că ele au aceeași geometrie intrinsecă. Astfel, dintre proprietățile cari se păstrează sunt: lungimile arcelor de curbe corespondente, unghiurile dintre direcții corespondente, ariile figurilor cari se corespund, curbura totală (a lui Gauss) în puncte corespondente, etc. De asemenea, liniile geodezice se transformă în linii geodezice. — Dându-se o suprafață S , presupusă formată dintr-o pânză flexibilă, dar inextensibilă, ea poate fi deformată, fără ca lungimile arcelor diferitelor curbe cari se pot trasa pe ea să se schimbe. Notând cu S' suprafața provenită din S prin deformare, elementele de arc ds, ds' sunt identice; deci S și S' sunt aplicabile una pe alta. Toate deformatele suprafeței inextensibile S sunt aplicabile pe ea. Invers, fiind date două suprafețe S, S' , pentru cari s'a constatat egalitatea elementelor de arc, există o deformare continuă și fără extensiune a lui S , care face ca punctele lui S să se suprapună peste punctele corespunzătoare ale lui S' , astfel că S se aplică pe S' , prin deformarea considerată. Pentru acest motiv, suprafețele cari au elementele de arc egale se numesc aplicabile.

În teoria aplicabilității se pun următoarele probleme importante:

Fiind date două suprafețe S și S' , să se constate dacă ele sunt sau nu sunt aplicabile și, în caz afirmativ, să se găsească ecuațiile de aplicabilitate; dându-se o suprafață S , să se determine toate suprafețele cari sunt aplicabile pe ea.

Prima problemă se reduce la a constata dacă primele forme fundamentale ale suprafețelor S și S' sunt sau nu sunt echivalente, adică dacă există transformări $u_1 = u_1(u, v), v_1 = v_1(u, v)$, cari să le

transforme una în alta. — Presupunând că cele două forme fundamentale ds^2 și ds'^2 sunt echivalente, iar formulele de aplicabilitate sunt date sub forma $f(u, v) = f_1(u', v')$, $g(u, v) = g_1(u', v')$ cu $\frac{\partial(f, g)}{\partial(u, v)} \neq 0$, $\frac{\partial(f_1, g_1)}{\partial(u', v')} \neq 0$ și notând cu $\nabla_1 f$, etc. parametrilor diferențiali ai lui Lamé relativi la S , și cu $\nabla'_1 f$ pe cei relativi la S' , trebuie să fie satisfăcute condițiunile

$$\nabla_1 f = \nabla'_1 f_1, \nabla(f, g) = \nabla'(f_1, g_1), \nabla_1 g = \nabla'_1 g_1.$$

Se mai poate constata și în alt fel, dacă două suprafețe S , S' sunt aplicabile. În adevăr, în punctele corespondente ale suprafețelor S și S' , curburile totale K și K' trebuind să fie egale, rezultă sistemul de ecuații

(1) $K(u, v) = K'(u', v')$, $\nabla_1 K(u, v) = \nabla'_1 K'(u', v')$, care trebuie să realizeze o corespondență isometrică. — Dacă ecuațiile (1) sunt compatibile și distincte, mai trebuie verificat dacă și

$$\nabla(K, \nabla_1 K) = \nabla'(K', \nabla'_1 K'), \nabla_1(\nabla_1 K) = \nabla'_1(\nabla'_1 K').$$

În caz afirmativ, cele două suprafețe sunt aplicabile; în cazul contrar, ele nu sunt aplicabile. — Când ecuațiile (1) sunt contradictorii, de exemplu $\nabla_1 K = f(K)$, însă $\nabla'_1 K'$ nu e aceeași funcțiune de K' , suprafețele S , S' nu sunt aplicabile. — Dacă ecuațiile (1) se reduc la una singură, ceea ce se întâmplă când

$$\frac{\partial(K, \nabla_1 K)}{\partial(u, v)} = 0 \text{ și } \frac{\partial(K', \nabla'_1 K')}{\partial(u', v')} = 0,$$

deci $\nabla_1 K = f(K)$ și $\nabla'_1 K' = f(K')$, cu aceeași funcțiune f , se recurge la parametrul diferențial ∇_2 și se discută ca mai înainte.

În cazul excepțional, când

$\nabla_1 K = f(K)$, $\nabla'_1 K' = f(K')$ și $\nabla_2 K = F(K)$, $\nabla'_2 K' = F(K')$, suprafețele S , S' sunt totdeauna aplicabile una pe alta, într-o infinitate simplă de moduri — și ambele sunt aplicabile pe o suprafață de rotație. — Sin. Aplicabilitate.

1. **Transformare** [преобразование, превращение; transformation; Verwandlung, Umwandlung; transformation; átalakulás]. 4. Fiz., Chim.: Succesiune de stări în care variază mărimile de stare ale unui sistem fizicochimic.

O transformare în care starea finală a sistemului fizicochimic coincide cu starea inițială se numește ciclu de transformare.

După specia mărimilor de stare cari variază, se deosebesc transformări de stare mecanică, termică, electrică, magnetică, chimică, etc.

După starea de agregare a sistemului fizicochimic, se deosebesc transformări în stare solidă, în stare lichidă și în stare gazoasă.

Trecerile între diferitele stări de agregare constituie, de asemenea, transformări importante. Ele se numesc topire, vaporizare, evaporare, condensare, solidificare, volatilizare, etc. (v. acești termeni).

Din punctul de vedere termodinamic, transformările se împart în reversibile (v. Reversibilă, transformare $\sim$) și în ireversibile (v. Ireversibilitate și Ireversibilă, transformare $\sim$). — Sin. Transformare de stare.

În Termodinamica fluidelor prezintă interes deosebit transformările în cari nu variază anumite mărimi importante. După mărimea care nu variază, se deosebesc transformări isoterme (v. Isotermă, transformare $\sim$), transformări isobare (v. Isobară, transformare $\sim$), transformări isostere, isopice, adiabatice, politropice, isentrope, etc.

2. $\sim$ **alotropică** [аллотропическое превращение; transformation allotropique; allotropische Umwandlung; allotropic transformation; halotropikus átalakulás]: Trecerea, în anumite condițiuni de temperatură, a unui element chimic, dela o modificare la alta; de exemplu, trecerea unui element solid cristalizat, dela o formă cristalină la alta, cu alte proprietăți fizice, dar cu proprietăți chimice similare, trecerea oxigenului în ozon. Transformările alotropice sunt însoțite de fenomene termice (desvoltare sau absorpție de căldură latentă de transformare).

Fiecare formă cristalină reprezintă o formă (stare, varietate sau modificare) alotropică a elementului respectiv. Formele alotropice se notează cu literele elene α , β , γ , etc., cari se adaugă simbolului elementului respectiv, forma alotropică stabilă la temperatura cea mai joasă fiind notată cu α , următoarea cu β , etc. Elemente cari prezintă modificări alotropice sunt: C, P, S, Fe, As, Sb, Sn, Mn, Se, Te, etc.

Formele alotropice prezintă o granulație mai fină; ele se formează prin producerea unor nuclee de cristalizare, urmată de creșterea cristalelor, asemănător cristalizării din stare lichidă. Obținerea de grăunți mici din grăunți mari, pe cale termică, e posibilă numai la metalele cari prezintă transformări alotropice (Fe, Sn, Mn, etc.).

3. $\sim$ **eutectică** [эвтектическое превращение; transformation eutectique; eutektische Umwandlung; eutectic transformation; eutektikus átalakulás]: Transformare invariantă, care se produce la solidificarea unor sisteme binare sau ternare, și care consistă în cristalizarea simultană, la temperatură constantă (temperatură eutectică), a soluției lichide remanente (în cazul aliajelor hipoeutectice sau hipereutectice) sau a întregii soluții lichide (în cazul aliajului eutectic), sub formă de amestec mecanic omogen de două, respectiv de trei faze. V. și sub Eutectic.

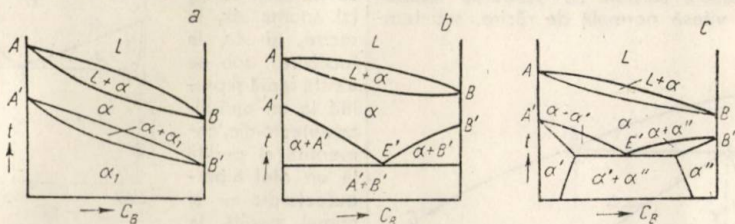
4. $\sim$ **eutectoidică** [эвтектоидное превращение; transformation eutectoide; eutektoide Umwandlung; eutectoid transformation; eutektoides átalakulás]: Transformare invariantă în stare solidă a unor sisteme binare sau ternare, care se produce asemănător transformării eutectice (v.), soluția-mamă fiind însă solidă. Exemplu: transformare eutectoidică a austenitei. V. și sub Eutectoid.

5. $\sim$ **în stare solidă** [превращение в твердом состоянии; transformation en état solide; Umwandlung in solidem Zustand; solid-state transformation; szilárd állapotú átalakulás]. Metl.: Transformare în structura aliajelor, respectiv a amestecurilor unui sistem binar, când acestea sunt răcite sub temperatura de sfârșit de solidificare.

Există mai multe feluri de transformări în stare solidă: datorite scăderii solubilității în stare solidă a componentilor, sau transformării alotropice (v.) a cel puțin unui component; ele apar pe diagramele de echilibru, în primul caz, sub forma unei curbe de solubilitate (v. curbele $d-d'$ și $f-f'$ din fig. IV și

e constituit de transformarea prin răcire a austenitei (soluție solidă terminală din sistemul de aliaje fier-carbon) în perlită și ferită, sau în perlită și cementită.

1. Transformare în stare solidă a oțelului [превращение стали в твердом состоянии; transformation de l'acier à l'état solide; Stahlmwandlung



1. Diagrama de echilibru cu transformările în stare solidă a componentilor unei soluții solide α , modificările alotropice fiind:

a) complet solubile; b) complet insolubile; c) parțial solubile; t) temperatura; C_B) concentrația în componentul (B); L) soluție lichidă; A) și B) componenții soluției solide α ; A') și B') modificările alotropice respective ale componentilor (A) și (B); α_1 , α' și α'') soluții solide ale modificărilor alotropice; E') punct eutectoid.

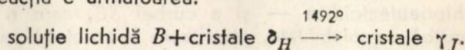
curbele $g-g'$ și $h-h'$ din fig. VI, sub Solidificarea sistemelor binare), iar în cel de al doilea caz, sub forma a două curbe, de început și de sfârșit de transformare, asemănătoare curbelor de solidificare liquidus și solidus, cu aspect care depinde de natura modificărilor alotropice (v. sub Solidificarea sistemelor binare). — Dacă modificările alotropice ale componentilor unei soluții solide α formează soluții solide cu solubilitate ilimitată, soluția solidă α trece în soluția solidă alotropică α_1 (v. fig. 1a). — Dacă modificările alotropice sunt insolubile una în alta, soluția solidă α suferă o transformare după o diagramă cu eutectoid, asemănătoare diagramei cu eutectic de tipul 2; descompunerea fiind completă, ulterior ei va exista doar un amestec al modificărilor alotropice (v. fig. 1b). — Dacă modificările alotropice sunt parțial solubile una în alta, soluția solidă α suferă o transformare după o diagramă cu eutectoid, asemănătoare diagramei cu eutectic de tipul 3 A; descompunerea fiind incompletă, vor mai rămâne soluții solide terminale (α' și α''), (v. fig. 1c).

Dacă transformarea alotropică se referă la componenții unui amestec solid, ea se produce la temperatură constantă; pe diagrama de echilibru vor apărea linii orizontale de transformare (v. fig. II).

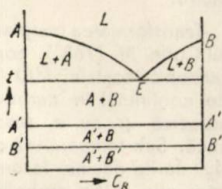
Prin transformările în stare solidă se produc schimbări importante în structura și proprietățile fizicochimice ale aliajelor, de cari depinde posibilitatea aplicării tratamentelor termice. Un exemplu

în festem Zustande; solid-state transformation of steel; az acél szilárd állapoti átalakulásai]. Transformare de structură la răcirea oțelului solidificat, cauzată de transformările alotropice ale fierului pur. Există mai multe transformări în stare solidă ale oțelului: ele depind de conținutul în carbon al oțelului, de domeniul de temperatură în care se produc și de viteza de răcire — și apar în diagrama de echilibru fier-carbon (v.) sub forma de curbe de început și de sfârșit de transformare. Temperaturile la cari se produc aceste schimbări structurale se numesc temperaturi de tranziție. După solidificare, un oțel cu un conținut mic în carbon formează o soluție solidă δ , corespunzătoare stării alotropice δ a fierului pur; limita ei de saturatie în carbon e de 0,10% carbon la 1492° (punctul H din diagrama fier-carbon).

La un conținut în carbon cuprins între 0,10 și 0,50% se produce o transformare peritectică (v.) de-a-lungul orizontalei HB. Soluția lichidă de compoziție B (0,50% carbon) reacționează cu soluția solidă δ , de compoziție H (0,10% carbon), formând soluția solidă γ , de compoziție J (0,18% carbon), la temperatura peritectică (1492°). Reacția e următoarea:



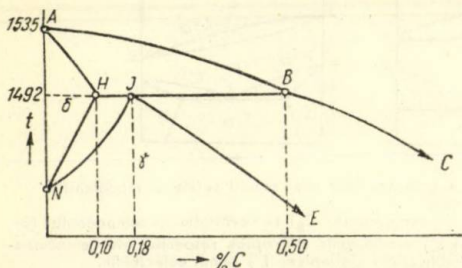
Dacă conținutul în carbon al oțelului e cuprins între 0,10 și 0,18%, soluția lichidă se consumă în întregime, rămânând un amestec de cristale primare de soluție solidă δ , cu cristale secundare de soluție solidă γ ; dacă conținutul în carbon al oțelului e cuprins între 0,18 și 0,50%, prin transformarea peritectică dispar cristalele primare de soluție solidă δ și, în continuare, se formează, cristale secundare, de soluție solidă γ , după curbele BC (liquidus) și JE (solidus); un oțel cu mai mult decât 0,50% carbon se solidifică direct sub forma de soluție solidă γ . Deci, după solidificare, se obțin: cristale primare de soluție solidă δ la oțelurile cu mai puțin decât 0,10% carbon (domeniul ANH); cristale primare de soluție solidă δ



II. Diagrama de echilibru cu transformările în stare solidă a componentilor unui amestec solid A+B.

t) temperatura; C_B) concentrația în componentul (B); L) soluția lichidă; A) și B) componenții amestecului solid înainte de transformarea alotropică; A') și B') modificările alotropice respective ale componentilor (A) și (B); A'-A') și B'-B') linii de transformare alotropice a componentului (A) și respectiv a componentului (B); E) punct eutectic.

în amestec cu cristale secundare de soluție solidă γ , la oțelurile cu 0,10...0,18% carbon (domeniul HNJ); cristale secundare de soluție solidă γ la oțelurile cu 0,18...0,50% carbon; cristale primare de soluție solidă γ la oțelurile cu mai mult decât 0,50% carbon. La scăderea temperaturii cu o viteză normală de răcire, sub tem-



1. Solidificarea oțelului (porțiune a diagramei de echilibru fier-carbon).

t) temperatura; %C) conținutul în carbon; ABC curba liquidus; $AHJE$ curba solidus; HJB linia peritectică; HN curba de început de transformare a soluției solide δ ; JN curba de sfârșit de transformare a soluției solide δ .

peraturile corespunzătoare punctelor A_4 (v. sub Temperaturile de transformare ale fierului pur), soluția solidă δ din domeniul ANH , împreună cu soluția solidă δ din domeniul HNJ , se transformă complet în soluție solidă γ (v. fig. I). Creșterea conținutului în carbon al oțelului ridică temperatura de transformare $\delta \rightarrow \gamma$.

Soluția solidă de carbon în fier γ , stabilă sub curba solidus NJE , se numește austenită: ea are conținutul maxim de carbon 1,70% la 1130° (punctul E , fig. II). Stabilitatea austenitei se menține până la traversarea curbei GOS de separare a feritei, corespunzătoare transformării alotropice, la temperatura punctului G (906°), a fierului pur γ în fier pur α (temperaturile corespunzătoare acestei curbe se notează cu A_3 și anume Ar_3 la răcire, respectiv Ac_3 la încălzire). La oțelurile hipoeutectoidice — și a curbei SE , care e o curbă de solubilitate, referitoare la un oțel hiper-eutectoidic și corespunzătoare separării cementitei secundare din austenită (temperaturile corespunzătoare acestei curbe se notează cu A_{cem} și anume Ar_{cem} la răcire, și Ac_{cem} la încălzire). Soluția de carbon în fier α se numește ferită și are conținutul maxim în carbon 0,03% la 721° (punctul P). Creșterea conținutului în carbon al oțelului coboară temperatura de transformare $\gamma \rightarrow \alpha$ până la 721° (punctul S) la 0,89% carbon. La temperatura 721° se termină separarea feritei (la un oțel cu mai puțin decât 0,89% carbon) și a cementitei secundare (la un oțel cu mai mult decât 0,89% carbon) și se produce transformarea austenitei remanente în perlită (v.). La un oțel cu 0,89% carbon, corespunzător punctu-

tului eutectoidic S (de întâlnire a curbelor de început și sfârșit de transformare) întreaga austenită se transformă în perlită (transformare eutectoidică). Temperatura corespunzătoare orizontalei eutectoidice PSK se notează cu A_1 (și anume Ar_1 la răcire, și Ac_1 la încălzire); sub ea există ferită și perlită la un oțel hipoeutectoidic, cementită și perlită la un oțel hiper-eutectoidic — și numai perlită la un oțel eutectoidic, constituenți cari nu mai suferă transformare alotropică. Fac excepție oțelurile moi, cu un conținut în carbon mai mic decât cel corespunzător punctului P (0,03% carbon), cari nu conțin perlită și au structură pur feritică; odată cu scăderea temperaturii sub 721°, curba de răcire traversează curba de solubilitate PQ ; din ferita oțelului cu un conținut în carbon cuprins între 0,03% (punctul P) și 0,01% (punctul Q) se va precipita cementita terțiară; oțelul va fi format deci, la temperatură ordinară, din ferită și cementită terțiară (v. fig. II). Acești constituenți (ferită, perlită, cementită) apar numai la răcirea cu viteză redusă a oțelului, la viteze mai mari apărând alți constituenți, după gradul de sub-răcire.

II. Transformările în stare solidă ale oțelului (porțiune din diagrama de echilibru fier-carbon).

t) temperatura; %C) conținutul în carbon; A_3 curba de separare a feritei; A_{cem} curba de separare a cementitei secundare; A_1 linia eutectoidică.

Transformarea magnetică a fierului pur, la punctul Curie M (768°), corespunde în diagrama fier-carbon orizontalei MO (poziția ei nu e influențată de conținutul în carbon); e o transformare monofazică și nu e susceptibilă la istezere termică. Sub temperatura orizontalei MO — notată cu A_2 — ferita devine feromagnetică. Fierul pur din intervalul dintre curbele MO și GO se numește impropriu fier β (el nefiind o stare alotropică). Trecerea peste orizontala A_0 (210°) reprezintă transformarea magnetică a cementitei, de asemenea monofazică.

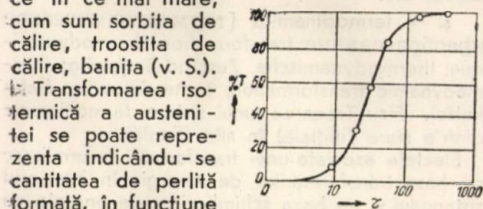
Transformările de mai sus au survenit la o răcire cu viteză mică a austenitei (mediul de răcire fiind, de exemplu, aerul atmosferic), adică printr-o traversare lentă a curbelor de transformare. Pe măsură ce crește viteza de răcire (prin folosirea de diverse medii de răcire) se accentuează subrăcirea — și transformarea austenitei se produce la o temperatură din ce în ce mai joasă. Temperaturile Ar_3 (a separării feritei) și Ar_1 (a transformării perlitice) coboară continuu și se întâlnesc: în loc de perlită se obțin structurile de tranziție (v.). Punctele de transformare corespunzătoare punctelor Ar_1 după

întâlnirea acestora cu punctele Ar_3 (datorită creșterii vitezei de răcire), la cari apar structurile de tranziție, adică stări de subrăcire, afară de echilibru, se notează cu Ar'_1 .

În cazul vitezelor de răcire mari, austenita se transformă în martensită α : soluție solidă supra-saturată de carbon în $Fe\alpha$ (v. fig. I, sub Răcire, viteza de $\sim$ în tratamente termice). Transformarea martensitică e condiționată de transformarea alotropică $Fe\gamma \rightarrow Fe\alpha$, fără separarea carbonului din soluție solidă (nu e o transformare cu difuziune). Ea se produce cu mărire de volum, dând naștere la tensiuni de compresiune cari tind să stabilizeze austenita. Punctele de transformare la cari apare martensita α se numesc Ar'_1 și coincid cu punctul de început de formare a martensitei (M_s); ele nu depind de viteza de răcire, ci numai de compoziția oțelului (v. fig. I, sub Răcire, viteza critică de $\sim$ pentru călire). Transformarea martensitică are și un punct inferior de sfârșit de formare a martensitei, notat cu M_f . Vitezele de răcire V_i și V_c determină începutul apariției martensitei α , respectiv dispariția troostitei și obținerea exclusivă a martensitei α —și se numesc viteză critică inferioară, respectiv superioară.

Transformări în stare solidă se numesc și cele produse la încălzirea oțelului, dar succesiunea transformărilor e exact inversă celei dela răcire, la oțelurile cu structură în stare de echilibru, sau diferită, la oțelurile cu structură în afară de echilibru (de ex. cu conținutul structurii martensită, troostită, sorbită, etc.).

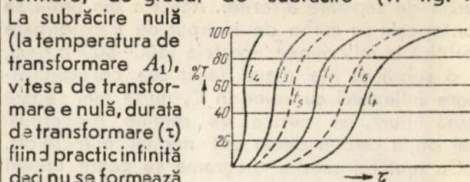
1. Transformare izotermică a austenitei [изотермический распад аустенита; transformation isothermique de l'austénite; isothermische Umwandlung des Austenits; isothermal transformation of austenite; austenit izotermikus átalakulása]: Transformarea la temperatură constantă a austenitei subrăcite (răcite sub temperatura de transformare A_1), în constituenți perlitici, cu structură și proprietăți dependente de această temperatură. La temperaturi înalte (subrăciri mici) se formează perlită cu structură mai grosolană; la temperaturi mai joase se formează constituenți perlitici cu un grad de dispersiune a feritei și cementitei din ce în ce mai mare, cum sunt sorbita de călire, troostita de călire, bainita (v. S.).



I. Curba transformării austenitei în perlită, la temperatură constantă.
%T) gradul de transformare;
t) timpul, în secunde.

Se deosebește o perioadă de incubajie (cu viteză de transformare extrem de mică, practic nulă) și o perioadă de formare a perlitiei (cu o viteză crescândă, care scade spre sfârșitul transfor-

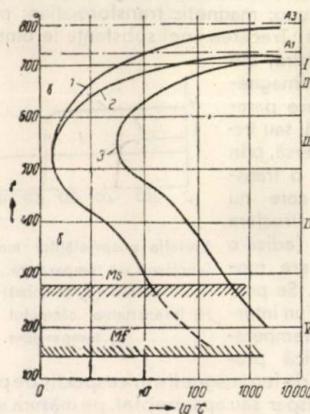
mării). Mersul curbei de transformare izotermică a austenitei e determinat de temperatura de transformare, de gradul de subrăcire (v. fig. II).



II. Curbele transformării izoterme a austenitei la diferite temperaturi
 $t_1 > t_2 > t_3 > t_4 > t_5 > t_6$.
%T) gradul de transformare; t) timpul, în secunde.

Pe măsura măririi subrăcirii (temperaturile t_1, t_2, t_3 și t_4), viteza de transformare crește, adică durata transformării scade. Dar, formarea perlitiei, respectiv a constituenților perlitici, fiind un proces de difuziune, la subrăciri mari (temperaturi joase de transformare t_5 și t_6) viteza de transformare începe să scadă; există deci o subrăcire (corespunzătoare temperaturii de transformare t_4), la care viteza de transformare e maximă.

Reprezentând punctele de început și de sfârșit de transformare, obținute la diversele temperaturi t , în coordonate temperatură-timp, rezultă o diagramă formată din două curbe: curba de început și curba de sfârșit de transformare a austenitei în perlită, numite curbe în C (fiindcă au forma literei C). Pe aceeași diagramă (v. fig. III) se



III. Diagrama transformării izoterme a austenitei la oțel cu 0,50% C.

γ) austenită subrăcită; I) perlită (680...720°); II) sorbită de călire (600...680°); III) troostită de călire (450...600°); IV) bainită (320...450°); V) martensită (<300°); t) temperatura de transformare; t) timpul în secunde; 1) curba de separare a feritei; 2) curba de început de transformare a austenitei; 3) curba de sfârșit de transformare a austenitei; A_1) temperatura de separare a feritei în diagrama de echilibru fier-carbon; M_s) începutul transformării martensitice; M_f) sfârșitul transformării martensitice.

reprezintă și liniile M_s și M_f de început și sfârșit de transformare martensitică (deși aceasta nu e

isotermică, producându-se la o răcire continuă), cum și — în cazul oțelurilor hipoeutectoidice — curba de separare a feritei. Aceasta din urmă se contopește cu curba de început de transformare perlitică la inflexiunea acesteia ($500\cdots 600^\circ$); deci, la o subrăcire mai mare decât cea corespunzătoare inflexiunii curbelor în C, nu se mai separă ferită liberă, iar perlita va conține procentual mai puțin carbon decât cel normal eutectoidic.

Cu ajutorul acestei diagrame se poate urmări transformarea isotermică a austenitei, pentru un anumit oțel, la orice grad de subrăcire. Pentru a obține martensită, e nevoie de o mare viteză de răcire, pentru a evita atingerea curbei de transformare perlitică; deci, cu cât punctul de inflexiune al acestei curbe e mai depărtat de axa ordonatelor (perioada de incubație e mai mare), cu atât transformarea martensitică se realizează la o răcire mai încetă (ca, de ex., răcirea în ulei sau în aer), adică oțelul e mai ușor călibil. Elementele de aliere ale oțelului influențează procesul de transformare, fie măbind viteza de transformare a austenitei (de ex. Co), fie micșorându-o (de ex. Ni, Mn, Si, Cu, Cr, Mo, W), modificând poziția curbelor în C față de axele de coordonate. De exemplu, prin micșorarea vitezei de transformare, se mărește perioada de incubație (curbele în C se deplasează spre dreapta), măbindu-se astfel călibilitatea oțelului (oțelurile aliate cu Ni, Mn, Cr, etc. se pot deci căli în ulei).

1. **Transformare magnetică** [магнитное превращение; transformation magnétique; magnetische Umwandlung; magnetic transformation; mágneses átalakulás]: Trecerea unei substanțe feromagnetice, prin încălzire, din stare feromagnetică în stare paramagnetică, sau trecerea inversă, prin răcire. E o transformare care nu modifică structura cristalină (adică o transformare monofazică). Se produce într-un interval de temperatură, adică proprietățile de feromagnetism, respectiv de paramagnetism dispar sau apar treptat, pe măsura apropierii de punctul de transformare, numit punct Curie; nu prezintă istereză termică. V. și sub Curie, punctul ~.

2. **~ martensitică** [мартенситное превращение; transformation martensitique; martensitische Umwandlung; martensitic transformation; martensites átalakulás]. V. sub Transformare în stare solidă a oțelului.

3. **~ peritectică** [перитектическое превращение; transformation péritectique; peritektische Umwandlung; peritectic transformation; peritektikus átalakulás]: Transformare invariantă care se produce la solidificarea unor sisteme binare cu componenți parțial solubili în stare so-

lidă, și a sistemelor binare cu componenți cari formează compuși chimici instabili, transformare care consistă în reacția dintre soluția lichidă și cristalele separate anterior, cu formarea unui nou tip de cristale. Aceste cristale sunt de soluție solidă în cazul amestecurilor cu solubilitate parțială în stare solidă, respectiv cristale de compus chimic, în cazul amestecurilor cari la solidificare formează compuși chimici instabili. În diagramele de echilibru (v. fig. VI și VIII, sub Solidificarea sistemelor binare), transformarea peritectică apare ca un segment (cgh) de linie orizontală, care, spre deosebire de linia eutectică, nu e situat la cea mai joasă temperatură. În timpul transformării, sistemul cuprinde trei faze și, în conformitate cu legea fazelor, temperatura de transformare rămâne constantă.

Reacția peritectică se prezintă astfel: lichid $c +$ cristale $\beta_h \rightarrow$ cristale α_g . Ea se termină la epuizarea soluției lichide, dacă aliajul are o concentrație cuprinsă între g și h , sau la dispariția cristalelor β_h (separate anterior), dacă aliajul are o concentrație cuprinsă între c și g .

4. **~ polimorfică** [полиморфическое превращение; transformation polymorphe; polymorphische Umwandlung; polymorphous transformation; polimorf átalakulás]: Trecerea unei substanțe solide compuse, cristalizate, la anumite temperaturi, dela o formă cristalină la alta. Diferitele forme cristaline au proprietăți diferite. Aceste proprietăți pot fi: densitatea, culoarea, duritatea, punctul de topire, indicele de refracțiune, solubilitatea, etc.

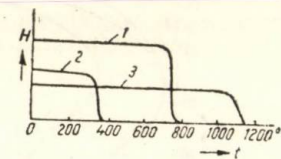
Transformările polimorfice sunt însoțite de desvoltare de căldură latentă când substanța trece la o formă cristalină mai stabilă, și de absorbție de căldură când substanța trece la o formă cristalină mai puțin stabilă; ele sunt reversibile numai dacă temperatura de transformare e mai joasă decât punctul de topire al formei cristaline stabile la temperatura mai joasă.

Exemple de substanțe polimorfice: oxidul de titan (cu trei forme cristaline: rutil, anatase și brookit); carbonatul de calciu (cu două forme cristaline: calcit și aragonit); bioxidul de siliciu (cu trei forme cristaline: cuarț, cristobalit, tridimit), etc.

5. **~ termodinamică** [термодинамическое преобразование; transformation thermodynamique; thermodynamische Zustandsänderung; thermodynamic transformation; termodinamikus átalakulás]. Fiz.: Trecerea unui sistem termodinamic dintr-o stare (inițială) în alta (finală).

Efectele asociate unei transformări se urmăresc pe baza transformărilor de energie în interiorul sistemului și pe baza schimburilor de energie cu exteriorul. În cursul transformării, masa sistemului poate fi constantă sau variabilă. Schimbarea stării sistemului se caracterizează prin variațiile parametrilor de stare, cari sunt legați între ei prin ecuația caracteristică de stare a sistemului.

Transformările gazelor cari prezintă interes în Termodinamică se împart în transformări ale



Variația proprietăților magnetice în funcțiune de temperatură, la fier (1), nichel (2) și cobalt (3).
H) Intensitatea câmpului magnetic;
t) temperatura.

gazelor perfecte și ale gazelor reale. Numărul parametrilor cari pot varia independent (F) e dat de legea fazelor:

$$F = C - P + 2,$$

P fiind numărul de faze în prezență și C , numărul componenților sistemului. La gaze sau la amestecuri de gaze (cari formează mediul sistemelor termodinamice tehnice), C e egal cu unitatea și, deci, în cazul unei cantități de material constante, se obține:

$F=1$ la o singură fază în prezență (gaze perfecte și abur supraîncălzit);

$F=2$ la două faze în prezență (abur saturat umed).

Transformările simple, cari se consideră în studiul evoluției sistemelor fizicochimice, sunt transformările: isocoră, $dv=0$ (v.); isobară, $dp=0$ (v.); isotermă, $dT=0$ (v.); adiabată, $dQ=0$ (v.); politropă, $n=\text{const.}$ (v.).

Transformarea politropă (v. Politropă, transformare ~) se definește prin:

$$\frac{\Delta U}{Q} = \varphi = \text{const. sau } c = \frac{c_v}{\varphi} = \text{const.}$$

sau, la gazul perfect, prin

$$n = \frac{c - c_p}{c - c_v} = \text{const.},$$

unde ΔU este variația energiei interne, Q e cantitatea de căldură schimbată cu exteriorul în cursul procesului, c e căldura specifică, iar n e exponentul politropic.

Transformarea politropă e generală, în sensul că, la diferite valori ale lui c (respectiv n), din ea se deduc celelalte transformări simple (v. fig. I, sub Termodinamica tehnică). Transformarea politropă poate fi urmărită pe diagrama indicată de o mașină. Determinarea exponentului politropic n la o transformare indicată (în diagrama mecanică $p-v$), se poate face prin calcul sau grafic. Din ecuația politropei $p v^n = p_1 v_1^n = p_2 v_2^n$ se obține:

$$n_{ind} = \frac{\ln p_1 - \ln p_2}{\ln v_2 - \ln v_1} = \frac{\log p_1 - \log p_2}{\log v_2 - \log v_1}$$

sau

$$n = - \frac{v dp}{p dv} = - \frac{v}{p} \lg \alpha;$$

grafic, determinând tangenta la curbă, rezultă n .

Adiabata se obține din politropă pentru $c=0$, deci pentru:

$$n = \frac{c_p}{c_v} = k.$$

În cazul variației căldurii specifice cu temperatura, se poate face calculul adiabatei cu ajutorul căldurii specifice medii:

$$c_m = \frac{1}{\theta_2 - \theta_1} \int_1^2 c d\theta.$$

Adiabata poate fi calculată și cu căldură specifică variabilă; calculul se face, fie cu o variație lineară cu temperatura a căldurii specifice $c=a+bT$,

fie cu o variație lineară a exponentului adiabatic $k=k_0+BT$. În cele două cazuri se obține, respectiv:

$$p_2 = p_1 \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{\frac{a_p}{a_v}} \cdot \frac{e^{\frac{b}{a_v} T_2}}{e^{\frac{b}{a_v} T_1}}$$

și

$$\frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{k_0 - 1 - BT_1}{k_0 - 1 - BT_2} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k_0 - 1}.$$

în care a , b , și B sunt coeficienții, iar indicii p și v sa referă la presiune și volum constant

În cazul gazului perfect în cantitate variabilă, dintre trei parametri, (de ex. p , v , T , u , i , s , etc.) doi pot rămâne constanți în același timp, sau între aceștia poate exista o legătură (de ex. la transformările isobare-isoterme ale aspirației și refulării la compresoare, ale aspirației și evacuarii la motoarele cu ardere internă, etc.).—În cazul gazelor reale (vapori), urmărirea transformărilor se face, obișnuit, în diagramele mecanică ($p-v$), termică sau entropică ($T-s$), entalpie-entalpie ($i-s$) și entalpie-presiune ($i-p$). În acest caz, transformarea politropă nu mai e o generalizare, deoarece în general nu poate fi folosită ca formulă de calcul; ea se definește legată de transformarea simplă adiabată, cu ajutorul randamentului politropic

$$\eta_p = \frac{(i_1 - i_2)_{ad}}{(i_1 - i_2)_n}.$$

Transformările simple ale aburului (isocora, isobara, isoterma, adiabata, isentalpa, transformări la titlu constant) sunt reprezentate în fig. IV, sub Termodinamica tehnică.

Transformările caracteristice ale gazelor umede (amestecuri de gaze perfecte cu gaze reale) se fac pe diagrame tip Ramzin entalpie-conținut de umiditate ($i-d$). Transformările simple, reprezentate în această diagramă (v. fig. VII, sub Termodinamica tehnică), sunt: isoterma $d\theta=0$, umiditatea relativă constantă

$$\varphi = \frac{\gamma_{vap}}{\gamma_{sat}} = \frac{p_{vap}}{p_{sat}} = \text{const.},$$

încălzirea isobară-adiabatică (isentalpică),

$$i = 0,24 \theta + 0,001 d (595 + 0,47 \theta) = \text{const.},$$

încălzirea sau răcirea $d=\text{const.}$, transformările de amestec, etc.

1. **Transformare** [перепреобразование; transformation; Umbildung; transposition, transformation; átalakítás]. 5. Fotogram.: Transpunerea clișeului original al unei fotografe, al cărei plan, în momentul expunerii clișeului, a fost inclinat față de planul mijlociu de referință al obiectului înregistrat, pe un plan paralel cu acel plan de referință.

2. **Transformare** [изменение ухода за молодого леса; transformation; Überführung; transformation; állomány-átalakítás]. 6. Silv.: Schimbarea tratamentului unui arboret, în cadrul aceleiași regim. Exemplu: transformarea codrului grădinar, în codru cu tăieri succesive.

1. Transformare, factor de $\sim$ a căldurii [коэффициент теплопроводяния; facteur de transformation de la chaleur; Umwandlungsfaktor der Wärme; transformation factor of heat; hőátalakulási tényező]. Termof.: Raportul dintre căldura cedată de un transformator termic și căldura primită de acesta, în ipoteza că transformatorul menține constantă căldura transformabilă în lucru mecanic.

În procese ireversibile, în cari căldura se transferă între sisteme cu diferențe finite de temperatură, căldura transformabilă în lucru mecanic devine mai mică, adică din căldura cedată rezervorului termic mai rece se poate obține o cantitate mai mică de lucru mecanic decât din căldura primită dela rezervorul termic mai cald; astfel, în cazul unui schimbător de căldură fără pierderi (v. fig. I), deși căldura q' cedată de schimbător (la temperatura T_2) ar fi egală cu căldura q primită (la temperatura $T_1 > T_2$), totuși — datorită scăderii temperaturii — căldura transformabilă în lucru mecanic se reduce. — În procese reversibile, căldura transformabilă în lucru mecanic rămâne aceeași.

Prin intermediul unor transformări reversibile se poate realiza, în principiu, transferul căldurii între sisteme cu diferențe finite de temperatură, căldura transformabilă în lucru mecanic, rămânând aceeași; expresiunea ei e (v. fig. II):

$$Al_0 = q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right),$$

unde q_1 e căldura luată la temperatura T_1 , iar T_0 e temperatura mediului ambiant. Sistemul termodinamic care primește căldura q_1 la temperatura T_1 și cedează căldura q_2 la temperatura T_2 , astfel încât căldura transformabilă în lucru mecanic să rămână aceeași, satisface deci relația

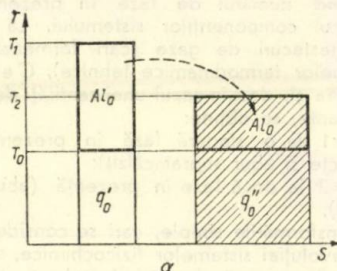
$$Al_0 = q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) = q_2 \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right).$$

La un astfel de sistem, q_2 trebuie să fie mai mare decât q_1 , dacă T_2 e mai mic decât T_1 , și invers (v. fig. III). Deci, din punctul de vedere al efectului util, căldura q_1 primită la temperatura T_1 , e

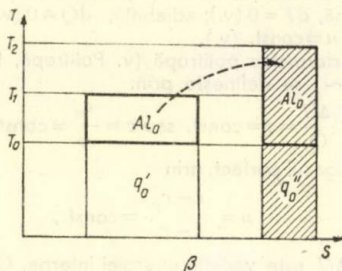
echivalentă cu căldura q_2 , cedată la temperatura T_2 , ceea ce se exprimă prin relația

$$q_1 \psi_{12} = q_2,$$

în care ψ_{12} e factorul de transformare a căldurii



I. Reprezentarea în diagrama T-S a transferului căldurii q dela temperatura T_1 la temperatura T_2 , într'un schimbător de căldură. S) entropie; T) temperatură; q) și q') căldură transferată.



III. Reprezentarea în diagrama T-S a ciclurilor de funcționare ale transformatorului de căldură.

$$q_1 = q'_0 + Al_0 \text{ și } q_2 = q''_0 + Al_0$$

α) sistemul cu $q_2 > q_1$, pentru $T_2 < T_1$; β) sistemul cu $q_2 < q_1$, pentru $T_2 > T_1$; S) entropie; T) temperatură; q') și q'') căldură; Al_0) echivalentul în căldură al lucrului mecanic l_0 .

dela temperatura T_1 la temperatura T_2 , care are expresiunea

$$\psi_{12} = \frac{q_2}{q_1} = \frac{1 - \frac{T_0}{T_1}}{1 - \frac{T_0}{T_2}} = \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}.$$

Factorul de transformare a căldurii e un criteriu sigur și comod, cu ajutorul căruia se pot aprecia atât efectul util obținut din transformarea căldurii la diferite temperaturi, cât și gradul de perfecțiune al sistemelor termodinamice.

2. Transformare, grad de $\sim$ [степень превращения; degré de transformation; Umwandlungsgrad; transformation degree; átalakulási fok]. Chim. fiz.: Raportul dintre concentrația produselor și concentrația reactanților rămași netransformați într-o reacție chimică.

Nicio reacție nu transformă întreaga cantitate de reactanți în produse. Gradul de transformare e limitat de echilibrul de reacție și e micșorat de amestecarea defectuoasă a reactanților, de timpul insuficient de reacție și de răcirea reactanților pe suprafețe reci, înainte de a intra în reacție.

Pentru o reacție, gradul de transformare e fracțiunea pe care o reprezintă reactantul limitativ, transformat în produsul dorit, din întreaga cantitate de reactant limitativ. Dacă se consideră cantitatea inițială de reactant limitativ (L), cantitatea de reactant limitativ (T), transformată conform reacției, gradul de transformare se poate exprima sub forma:

$$\frac{T}{L} = \frac{L-N}{L} = \left(1 - \frac{N}{L}\right),$$

unde $N=L-T$ e cantitatea de reactant limitativ netransformat.

1. Transformare, punct de $\sim$ [точка превращения; point de transformation, température de transformation; Übergangspunkt, Verwandlungstemperatur; temperature of transition; átalakulási hőfok]: 1. Punctul corespunzător temperaturii la care, la presiune și viteză de încălzire, respectiv viteză de răcire, date, se face trecerea unui sistem fizicochimic dela o formă la alta — care poate fi o altă modifiacție alotropică, o altă stare polimorfică sau o altă stare de agregare — compoziția chimică rămânând aceeași.

Puncte de transformare sunt punctele de tranziție, cele de topire (respectiv de solidificare) și de fierbere (respectiv de lichefiere sau de condensare). V. și sub Transformare 4. — 2. Sin. (în sens restrâns) Temperatură de tranziție (v.).

2. Transformări, familie de $\sim$ [семейство преобразований; famille de transformations; Umwandlungenfamilie; family of transformations; átalakítási család]. Mat.: Mulțime de transformări (v. Transformare 1), ale căror ecuații de definiție conțin elemente arbitrare (funcțiuni, parametri).

3. $\sim$, grup de $\sim$ [группа преобразований; groupe de transformations; Umwandlungsgruppe; transformation group; átalakítási csoport]: Familie Φ de transformări (v. Transformare 1), având următoarele proprietăți: transformarea identică E aparține familiei; dacă T e inclus în Φ , atunci și T^{-1} e inclus în Φ ; dacă T și $\bar{T}$ sunt două transformări din familie, produsul lor $T\bar{T}$ e, de asemenea, o transformare a familiei.

4. Transformări cu r parametri, finite [конечные преобразования с r параметрами; transformations finies avec r paramètres; endliche, finite Umwandlungen mit r Parameter; finite transformations with r parameters; véges r paraméteres átalakítás]. Geom.: Familie de transformări (v. Transformări, familie de $\sim$), definită într'un spațiu X_n prin formule de forma

$$y^i = y^i(x^1, x^2, \dots, x^n, a_1, a_2, \dots, a_r), \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

$a_1, a_2, \dots, a_r$ fiind parametri variabili.

Pentru $r=1$ se obțin transformări cu un parametru. Dând parametrului a o valoare determinată, transformarea respectivă face să se treacă de la punctul $P(x^1, x^2, \dots, x^n)$, la punctul $Q(y^1, y^2, \dots, y^n)$. O astfel de transformare cu un parametru, dacă formează un grup, poate fi redusă, printr'o alegere convenabilă a coordonatelor și a parametrului, la o familie de translații, $y^i = x^i + a^i$.

5. $\sim$ Galilei. V. Galilei, grupul de transformări al lui $\sim$.

6. $\sim$ infinite [бесконечные преобразования; transformations infinies; unendliche Umwandlungen; infinite transformations; végtelen átalakítások]: Familie de transformări (v. Transformări, familie de $\sim$), definită într'un spațiu X , prin formule cari conțin funcțiuni arbitrare.

7. Transformări termodinamice în atmosferă [термодинамические превращения в атмосфере; processus thermodynamique dans l'atmosphère; thermodynamische Prozesse in der Atmosphäre; thermodynamic processes in the atmosphere; termodinamikusan átalakulások a légkörben]. Meteor. Aerul nu e un gaz ideal; legea lui de stare termică poate fi bine aproximată de ecuația lui Van der Waals (v.). Totuși, în studiul fenomenelor atmosferice se utilizează ecuația de stare a gazelor perfecte, deoarece eroarea care se face prin considerarea aerului ca gaz perfect e mai mică decât erorile introduse de măsurări și de labilitatea mărimilor din atmosferă. Ținând seamă că atât energia interioară u , cât și schimbul de căldură q pot fi exprimate în funcțiune de doi dintre parametrii p , v sau T și de variațiile lor, rămân patru parametri măsurabili în cursul oricărei transformări. De obicei, se iau parametrii p , v , T și q . Doi dintre ei sunt independenți, iar ceilalți doi depind de primii.

Relațiile cari se deduc din principiile Termodinamicii exprimă cantitatea de căldură schimbată în funcțiune de o pereche de parametri independenți, aleși succesiv din cei trei, p , v , T , cari mai rămân:

$$dq = c_v dT + (c_p - c_v) T \frac{dv}{v},$$

$$dq = c_p dT - (c_p - c_v) T \frac{dp}{p},$$

$$dq = \frac{c_p}{R} p dv + \frac{c_v}{R} v dp,$$

unde c_v și c_p sunt căldurile specifice la volum și la presiune constantă, iar R e costanta gazului perfect.

În transformările fizice pe cari le sufer masele de aer din atmosferă variază, în general, toți cei patru parametri ai gazului. Transformările pot fi însă approximate, după împrejurări, de una dintre transformările definite pentru cazul când unul dintre parametri rămâne constant.

Transformările termodinamice din atmosferă se împart, în general, în transformări umede și în transformări uscate.

Transformare termodinamică umedă: Transformări într'o masă de aer umed, saturat, în care deci fazele lichidă sau solidă ale apei coexistă pe lângă faza de vapori și sufer variații cantitative. Saturația trebuie menținută în tot cursul procesului, în timpul căruia se produc condensarea sau evaporarea.

Se deosebesc numeroase transformări termodinamice umede.

Transformarea adiabatică umedă e o transformare adiabatică în cursul căreia suferă variații faza lichidă sau solidă a apei în suspensie în aerul saturat.

Ecuția transformărilor adiabactice umede e:

$$d\left(x_v \frac{L}{T}\right) + (C_u + X c_u) \frac{dT}{T} - AR \frac{dp_u}{p_u} = 0,$$

unde C_u e căldura specifică la presiune constantă a aerului uscat; c_u e căldura specifică la volum constant a aerului uscat; X e numărul de grame de apă amestecate cu un kilogram de aer uscat; x_v e numărul de grame de vapori de apă amestecate cu un kilogram de aer uscat; L e căldura latentă de vaporizare a apei; T e temperatura absolută; A e echivalentul caloric al lucrului mecanic, iar R e constanta gazelor perfecte.

În cazul transformării adiabactice umede reversibile, în care produsele de condensare nu ies din sistem prin precipitare, această ecuație e integrabilă și conduce la relația:

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p-E}{p_0-E_0} \right)^{\frac{AR_u}{C_u+Xc_u}} \cdot e^{x_{v0} \frac{L_0}{T_0} - x_v \frac{L}{T}},$$

în care E_0 , respectiv E , sunt tensiunea maximă a vaporilor în stare inițială și finală, e fiind baza sistemului de logaritmi naturali.

Dacă transformarea adiabatică umedă e ireversibilă, adică dacă apa condensată se precipită, ecuația diferențială nu mai e integrabilă, deoarece X se înlocuiește cu x_v , care e variabil. Înlocuindu-l însă cu o valoare medie constantă $\bar{x}$, într'un interval mic de presiune, se obține o relație asemănătoare cu cea anterioară pentru transformările reversibile.

În cursul transformărilor adiabactice umede de orice fel rămân practic constante următoarele mărimi: temperatura echivalent-potențială (echipotențială), cea potențial-echivalentă, sau pseudopotențială. Cu ajutorul lor se definește atât procesul, cât și originea masei de aer. Condensarea se produce în cursul detentei adiabactice, iar evaporarea, în cursul compresiunii. Pe diagramele aerologice, transformările adiabactice umede se urmăresc începând din punctul de condensare adiabatică a masei respective de aer. Din acest punct, spre presiuni și temperaturi mai joase, punctele care reprezintă stările succesive ale masei de aer părăsesc adiabata uscată, trecând pe adiabata umedă a punctului de condensare indicat.

Răcirea sau încălzirea în cursul transformării adiabactice umede sunt mai încete, pentru aceleași variații de presiune sau de volum specific, decât în cursul transformării uscate, deoarece sunt frânate de desvoltarea (respectiv de absorpția) căldurilor latente necesare schimbărilor de fază.

Transformarea pseudoadiabatică e o transformare adiabatică ireversibilă, în care apa condensată prin destinderea adiabatică umedă iese din

sistem prin precipitare. În timpul transformării pseudoadiabactice, temperatura pseudopotențială rămâne constantă. De asemenea, rămân aproximativ constante temperatura echipotențială sau potențial-echivalentă.

Destinderea sau răcirea pseudoadiabatică se efectuează după ecuația transformărilor adiabactice umede, de-a-lungul adiabatei umede. Comprimarea sau încălzirea pseudoadiabatică se efectuează după ecuația transformărilor adiabactice uscate, de-a-lungul adiabatei uscate.

Transformarea isosteră umedă e o transformare umedă la volum constant, în timpul căreia variază faza lichidă sau solidă a apei în suspensie în aerul saturat. În cursul unei transformări isostere, procesul umed începe din punctul de condensare isosteră.

Transformarea isosteră umedă e caracterizată printr'o căldură specifică a aerului saturat, mult mai mare decât în cazul aerului uscat. Mărirea e datorită intervenției căldurii latente. Schimbul elementar de căldură e dat de:

$$dq = L ds + c_v dT,$$

unde: $L=f(T)$ e căldura latentă, iar $s(v_0, T)$ e umiditatea specifică, v_0 fiind volumul specific, care rămâne constant în cursul transformării. Căldura specifică se exprimă, în acest caz, prin:

$$c_{v,u} = \frac{dq}{dT} = L \frac{ds}{dT} + c_v,$$

fiind funcțiune de temperatura T din cursul transformării și de volumul specific dat v_0 . Condensarea se produce în cursul răcirii isostere, iar evaporarea, în cursul încălzirii.

Transformarea isopicnică umedă e o transformare identică cu cea isosteră, într'u cât densitatea e valoarea reciprocă a volumului specific.

Transformarea isobară umedă e o transformare umedă la presiune constantă, în care variază faza lichidă sau solidă a apei în suspensie în aerul saturat. În cursul transformării isobare, procesul umed începe în punctul de condensare isobară (punctul de rouă). Transformarea isobară umedă e caracterizată printr'o căldură specifică mult mai mare decât în cazul aerului uscat. Mărirea e datorită căldurii latente desvoltate sau absorbite. Schimbul de căldură elementar e dat de:

$$dq = L ds + c_p dT.$$

Căldura specifică se exprimă prin:

$$c_{p,u} = \frac{dq}{dT} = L \frac{ds}{dT} + c_p,$$

fiind, prin intermediul căldurii latente $L=f(T)$ și al umezelii specifice $s(p_0, T)$, funcțiune de temperatura T din cursul transformării și de presiunea dată p_0 .

Condensarea se produce în cursul răcirii isobare, iar evaporarea, în cursul încălzirii. Transformarea e foarte frecventă în apropierea solului.

Transformarea isotermă umedă e o transformare umedă la temperatură constantă, în care variază

faza lichidă sau solidă a apei în suspensie. În cursul transformării izoterme, procesul umed începe în punctul de condensare izotermă. Transformarea izotermă umedă nu e posibilă decât pentru temperaturi inferioare temperaturii punctului critic al apei. Ea e caracterizată printr'un bilanț termic mai mare decât în cazul aerului uscat, la căldura desvoltată în cursul comprimării adăugându-se căldura latentă. În același timp, însă, creșterea presiunii e frânată de ieșirea din faza gazoasă a unei cantități de vapori de apă.

Transformare termodinamică uscată: Transformare într'o masă de aer uscat sau umed nesaturat (care deci nu conține apă sau cel mult conține apă în faza de vapori, în absența fazelor lichidă sau solidă). În cursul ei nu e atinsă saturația și nu trebuie să se producă condensare sau evaporare. Transformările termodinamice uscate din aerul umed nesaturat sunt foarte bine approximate de ecuațiile cari se scriu pentru aceleași transformări în aerul uscat, prezența vaporilor de apă dând abateri de 10...20 de ori mai mici decât erorile cari provin din citirile la instrumente.

Transformarea adiabatică uscată e o transformare în cari nu se produce schimb de căldură cu mediul: $dq=0$. Oricare dintre ceilalți trei parametri: presiunea p , volumul specific v și temperatura T , poate fi luat drept al doilea parametru independent, pe lângă: $q=q_0$. Cu ajutorul lui se pot determina ceilalți doi parametri, cari nu mai sunt independenți. Legătura dintre acești trei parametri e dată de ecuațiile lui Poisson, din cari se deduc formulele de recurență cari exprimă ceilalți parametri variabili în funcțiune de parametrul considerat independent:

$$p = p_0 \left(\frac{v_0}{v} \right)^\kappa = p_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{\kappa}{1-\kappa}};$$

$$v = v_0 \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\kappa}} = v_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{1}{1-\kappa}};$$

$$T = T_0 \left(\frac{v}{v_0} \right)^{1-\kappa} = T_0 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}};$$

p_0 , respectiv v_0 , fiind presiunea, respectiv volumul la temperatura absolută T_0 , iar p , respectiv v , presiunea, respectiv volumul, la temperatura absolută T ; $\kappa=1,40$ e călul căldurilor specifice la presiune constantă, respectiv la volum constant, pentru aerul uscat.

Transformarea adiabatică e însoțită de variația presiunii, a volumului și a temperaturii. Alegând pentru stadiul final al transformării o anumită valoare pentru unul dintre acești trei parametri, se definesc dela sine și valorile celorlalți doi, conform ecuațiilor de mai sus. Utilizând valoarea temperaturii potențiale Θ , care caracterizează această transformare adiabatică și rămâne constantă în cursul ei, și care poate fi exprimată în funcțiune

de doi dintre cei trei parametri p_0 , v_0 , T_0 ai stării inițiale:

$$\Theta = T_0 \left(\frac{1000}{p_0} \right)^{\frac{AR}{c_p}} = T_0 \left(\frac{1000 v_0}{RT_0} \right)^{\frac{AR}{c_p}} = \frac{p_0 v_0}{R} \left(\frac{1000}{p_0} \right)^{\frac{AR}{c_p}}$$

se pot calcula presiunea, volumul specific sau temperatura gazului în orice stare finală, definită de valoarea finală a unuia dintre ei, în funcțiune de acea valoare finală a parametrului ales și de temperatura potențială:

$$p = 1000 \left(\frac{T}{A} \right)^{\frac{c_p}{AR}} = 1000 \left(\frac{R \Theta}{1000 v} \right)^{\frac{c_p}{c_v}};$$

$$v = \frac{R \Theta}{1000} \left(\frac{\Theta}{T} \right)^{\frac{c_v}{AR}} = \frac{R \Theta}{1000} \left(\frac{1000}{p} \right)^{\frac{c_v}{c_p}};$$

$$T = \Theta \left(\frac{p}{1000} \right)^{\frac{AR}{c_p}} = \Theta \left(\frac{R \Theta}{1000 v} \right)^{\frac{c_v}{AR}}.$$

Transformările convective locale din atmosferă sunt, practic, adiabatic.

Transformările advecitive, desfășurate de-a-lungul marilor suprafețe frontale, se depărtează destul de mult de caracterul adiabatic, din cauza incetinii cu care ele se realizează și care permite schimburi termice cu mediul înconjurător. Ele se definesc mai bine ca transformări politrope de o clasă oarecare, dedusă din mărimea căldurii specifice politrope c .

Transformarea isosteră uscată e o transformare în care volumul specific rămâne constant: $dv=0$. Ca parametru independent, pe lângă $v=v_0$, poate fi luat oricare dintre parametrii p , T , q . Cu ajutorul lui se poate calcula oricare dintre ceilalți doi, cari nu mai sunt deci independenți. Relațiile de recurență se deduc din legea stării gazului și din primul principiu al Termodinamice:

$$p = p_0 \left(\frac{T}{T_0} \right) = p_0 \left(1 + \frac{q}{T_0 c_v} \right);$$

$$T = T_0 \left(\frac{p}{p_0} \right) = T_0 \left(1 + \frac{q}{T_0 c_v} \right);$$

$$q = c_v (T - T_0) = c_v \frac{T_0}{p_0} (p - p_0),$$

unde q e căldura cedată sau primită și c_v e căldura specifică la volum constant.

Transformarea isopicnă uscată e o transformare identică cu cea isosteră, deoarece densitatea e mărimea reciprocă volumului specific: $\rho=1/v$. În cursul transformărilor isopice (sau isostere), densitatea gazului (deci și volumul specific) rămâne constantă. Relațiile de recurență sunt aceleași ca la transformarea isosteră, v fiind înlocuit cu $v=1/\rho$.

Transformarea isobară uscată e o transformare în care presiunea gazului rămâne constantă: $dp=0$. Drept parametru care mai rămâne independent, afară de presiunea $p=p_0$, poate fi luat oricare dintre parametrii v , T , q . Cu ajutorul lui se poate calcula oricare dintre ceilalți doi, cari nu mai sunt deci independenți. Relațiile de recurență se deduc

din legea stării gazului și din primul principiu al Termodinamicii:

$$\begin{aligned}v &= v_0 \frac{T}{T_0} = v_0 \left(1 + \frac{q}{T_0 c_p}\right); \\T &= T_0 \frac{v}{v_0} = T_0 \left(1 + \frac{q}{T_0 c_p}\right); \\q &= c_p (T - T_0) = c_p \frac{T_0}{v_0} (v - v_0),\end{aligned}$$

unde $c_p = c_v + AR$ e căldura specifică la presiune constantă.

Transformarea izotermă uscată e o transformare în care temperatura gazului rămâne constantă: $dT=0$. Drept parametru care mai rămâne independent, afară de temperatura $T=T_0$, poate fi considerat oricare dintre parametrii p , v , q . Cu ajutorul lui se poate calcula oricare dintre ceilalți doi, cari nu mai sunt deci independenți. Relațiile de recurență se deduc din legea stării gazelor și din primul principiu al Termodinamicii:

$$\begin{aligned}v &= v_0 \frac{p_0}{p} = v_0 e^{\frac{q}{Ap_0 v_0}}; \\p &= p_0 \frac{v_0}{v} = p_0 e^{\frac{-q}{Ap_0 v_0}}; \\q &= Ap_0 v_0 \ln \frac{v}{v_0} = -Ap_0 v_0 \ln \frac{p}{p_0},\end{aligned}$$

unde $\ln$ reprezintă logaritmul natural, e este baza lor, iar A e echivalentul caloric al lucrului mecanic.

Transformarea politropă uscată e o transformare în care variază concomitent toți parametrii gazului, dar în așa fel, încât variația cantității de căldură q pentru o variație de temperatură egală cu unitatea (căldura specifică politropă c) să rămână constantă și independentă de presiune sau de volumul specific:

$$dq = c dT.$$

Celelalte trei relații, cari se deduc din principiile Termodinamicii pentru ceilalți parametri ai gazului, sunt:

$$(c_v - c) dT + (c_p - c_v) T \frac{dv}{v} = 0;$$

$$(c_p - c) dT - (c_p - c_v) T \frac{dp}{p} = 0;$$

$$(c_p - c) p dv + (c_v - c) v dp = 0.$$

Ele determină oricare parametru în funcțiune de un parametru independent și de căldura specifică:

$$T v^{k-1} = T_0 v_0^{k-1};$$

$$T^k p^{1-k} = T_0^k p_0^{1-k};$$

$$p v^k = p_0 v_0^k,$$

unde

$$k = \frac{c_p - c}{c_v - c}; \quad c = \frac{k c_v - c_p}{k - 1}.$$

Din acestea se deduc relațiile de recurență între parametri:

$$p = p_0 \left(\frac{v_0}{v}\right)^k = p_0 \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{k}{k-1}} = p_0 \left(1 + \frac{q}{T_0 c}\right)^{\frac{k}{k-1}};$$

$$v = v_0 \left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{1}{k}} = v_0 \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{1}{1-k}} = v_0 \left(1 + \frac{q}{T_0 c}\right)^{\frac{1}{1-k}};$$

$$T = T_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{1-k} = T_0 \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} = T_0 + \frac{q}{c};$$

$$\begin{aligned}q &= c (T - T_0) = c T_0 \left[\left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{1-k}{k}} - 1 \right] \\&= c T_0 \left[\left(\frac{v_0}{v}\right)^{k-1} - 1 \right].\end{aligned}$$

Deși, aparent, p , v , T , q sunt funcțiuni de un singur parametru al gazului, totuși, în fapt, ei sunt funcțiuni de doi parametri, prin intermediul coeficienților c și k .

1. Transformator, pl. transformatoare [трансформатор, преобразователь; transformateur; Umwandler; transformer; transzformátor]. 1. Tehn.: Aparat sau instalație care servește la transformarea energiei unui sistem fizic, numit sistem primar, în energia unui alt sistem fizic, numit sistem secundar, cu modificarea adecvată a anumitor mărimi de stare.

Se deosebesc transformatoare propriu zise, la cari energia are aceeași formă, atât în sistemul primar, cât și în cel secundar — și transformatoare în sens larg, la cari energia are în secundar o formă deosebită de cea din primar. Transformatorul de căldură (v.) și transformatorul electric (v.) sunt exemple din prima categorie; transformatorul electroacustic (v.) e un exemplu din cea de a doua categorie.

2. Transformator de căldură [теплопреобразователь; transformateur de chaleur; Wärmetransformator; heat transformer; hőtranszformátor]. Termof.: Instalație destinată transferului reversibil de căldură, cu ajutorul unui mediu fluid, între cel puțin trei rezervoare de căldură cu temperaturi diferite. În transformatorul de căldură e necesară o combinație între ciclul direct, în care căldura trece dela o temperatură mai înaltă la una mai joasă, și ciclul inversat, în care căldura trece dela o temperatură mai joasă la una mai înaltă (de ex. ciclul unei pompe de căldură).

În mod obișnuit, căldura necesară în scopuri tehnologice sau pentru încălzirea imobilelor se obține prin arderea unui combustibil și se transferă, fie direct substanței care trebuie încălzită în cursul procesului tehnologic, fie unui fluid caloric, care o transportă până la locul de utilizare. În acest sistem, căldura e produsă prin arderea combustibilului la temperatură înaltă, în general între 1000° și 2000°C, în timp ce substanța care e încălzită sau fluidul caloric au temperaturi mult

mai joase. Transferul căldurii dela gazele cu temperatură înaltă, produse prin arderea combustibilului, la corpuri cu temperatură mai joasă constituie cazul tipic al transformărilor ireversibile, în cari se reduce căldura transformabilă în lucru mecanic. Această reducere provoacă micșorarea gradului de utilizare a energiei conținute în combustibilul ars în focar.

Într'un transformator de căldură se ține să se realizeze un sistem de transformări reversibile, pentru a putea transmite căldura dela un rezervor termic cu temperatură înaltă la un alt termorezervor, cu temperatură mai joasă, menținând constantă căldura transformabilă în lucru mecanic. În funcțiune de temperaturile termorezervoarelor acestui sistem termodinamic, căldura transformabilă în lucru mecanic se modifică în concordanță cu factorul ψ_{12} de transformare a căldurii (v.). De exemplu, la o instalație de încălzire, la care căldura e produsă prin arderea combustibilului la temperatura de 1200°C și aparatele de încălzire cedează căldura la 60°C, factorul de transformare a căldurii are valoarea

$$\psi_{12} = \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0} = \frac{333}{1473} \cdot \frac{1473 - 278}{333 - 278} = 4,91,$$

temperatura T_0 a mediului ambiant fiind de 5°. Deci, consumând 1 kcal la temperatura de 1200° se pot obține 4,91 kcal la temperatura de 60°. Rezultă că un transformator de căldură e de 4,91 ori mai rentabil decât instalațiile obișnuite, la cari, consumând 1 kcal la temperatura de 1200° se obține tot 1 kcal la temperatura de 60°.

La un transformator de căldură, ciclul direct servește (de ex. prin efectuare de lucru mecanic), la furnisarea energiei necesare ciclului inversat, iar acesta cedează căldură la o temperatură mai înaltă decât cea la care a primit-o. Eficiența maximă a transformatorului de căldură ar putea fi obținută numai în cazul reversibilității totale, ceea ce nu e realizabil decât dacă schimburile de căldură între exterior și fluidele calorifice s'ar face la diferențe de temperatură infinit mici și dacă instalația ar funcționa după ciclurile Carnot, direct și inversat. În practică, aceste condițiuni nu pot fi realizate, astfel încât transformatoarele de căldură reale sunt mai puțin eficiente decât rezultă din expresiunea factorului de transformare a căldurii. —

După felul în care se modifică temperatura, se deosebesc trei tipuri de transformatoare de căldură:

1. Transformator de căldură reductor [уравни- тельный теплопреобразователь; transformateur réducteur de chaleur; Wärmereduktionstransformator; heat reduction transformer; reduktors hőtranszformátor]: Transformator de căldură prin care se transferă căldură la un rezervor termic cu o temperatură intermediară temperaturilor rezervoarelor termice cari o cedează. Acest transformator poate fi termomecanic: cu agregat motor termic-pompă de căldură (puțin folosit, fiind costisitor), termochimic, sau cu ejector.

Fig. 1 reprezintă schematic un transformator de căldură reductor, care cuprinde: motorul termic M , cu ciclul direct, care primește căldura q_1 dela rezervorul cu tem-

peratura mai înaltă T_1 și cedează căldura q_2' rezervorului cu temperatura mai joasă T_2 , efectuând lucrul mecanic l ; pompa de căldură P , cu ciclul inversat, care preia căldura q_0 dela rezervorul cu temperatură T_0 ($T_0 < T_2$, în general T_0 fiind temperatura mediului ambiant) și absoarbe lucrul mecanic l efectuat de motor, și cedează căldura q_2'' rezervorului cu temperatura T_2 . Deci, căldura pe care transformatorul o cedează rezervorului cu temperatura T_2 e

$$q_2 = q_2' + q_2''.$$

În ipoteza că motorul și pompa de căldură funcționează după ciclul Carnot, se determină: randamentul termic teoretic al motorului

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

și echivalentul în căldură al lucrului mecanic efectuat

$$Al = q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right),$$

și deci căldura cedată termorezervorului cu temperatura T_2 e

$$q_2 = q_1 - Al = q_1 \frac{T_2}{T_1};$$

se mai determină eficiența ciclului pompei de căldură

$$\epsilon_c = \frac{q_2''}{Al} = \frac{T_2}{T_2 - T_0};$$

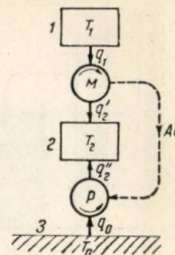
căldura cedată de aceasta rezervorului cu temperatura T_2 fiind

$$q_2'' = Al \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_0} = q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_0},$$

factorul de transformare a căldurii e

$$\psi_{12} = \frac{q_2}{q_1} = \frac{q_2' + q_2''}{q_1} = \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}.$$

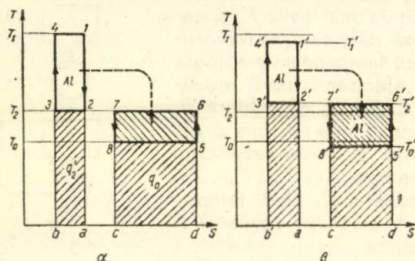
În diagrama $T-S$ din fig. 11-a, suprafața ciclului 1-2-3-4-1 e proporțională cu echivalentul în căldură Al al lucrului mecanic efectuat de motorul M , suprafața 1-4-b-a-1 e proporțională cu căldura q_1 primită de motor dela rezervorul cu temperatura T_1 , și suprafața 2-3-b-a-2 e proporțională cu căldura q_2' cedată de motor rezervorului cu temperatura T_2 . Suprafața 5-6-7-8-5 e proporțională cu echivalentul în căldură Al al lucrului mecanic absorbit de pompa de căldură P (care e primit



1. Principiul de funcționare a transformatorului de căldură reductor.

1) rezervor termic cu temperatură înaltă T_1 ; 2) rezervor termic cu temperatură medie T_2 ; 3) rezervor termic cu temperatură joasă T_0 (mediu ambiant); M) motor; P) pompă de căldură; q_0 , q_1 , q_2' , q_2'') căldură; Al) echivalent în căldură al lucrului mecanic l .

dela motor), suprafața 8-5-d-c-8 e proporțională cu căldura q_0 luată de pompa de căldură dela rezervorul cu temperatura T_0 , și suprafața 6-7-c-d-6



11. Reprezentarea în diagrama $T-S$ a ciclurilor de funcționare ale transformatorului de căldură reductor.

a) ciclul teoretic; b) ciclul real; S) entropie; T) temperatură; q_0, q_2) căldură; Al) echivalentul în căldură al lucrului mecanic l .

e proporțională cu căldura q_2 cedată de pompa de căldură rezervorului cu temperatura T_2 . Căldura primită de acest rezervor e reprezentată în diagrama $T-S$ prin suprafețele hașurate, iar factorul de transformare a căldurii va fi

$$\psi_{12} = \frac{q_2}{q_1} = \frac{\text{supr. } 2-3-b-a-2 + \text{supr. } 6-7-c-d-6}{\text{supr. } 1-4-b-a-1}.$$

Factorul ψ_{12} e totdeauna supraunitar la un transformator de căldură reductor și complet reversibil, deoarece rezervorul cu temperatura T_2 primește atât căldura q_1 , cedată de rezervorul cu temperatura T_1 , cât și căldura q_0 , luată dela rezervorul cu temperatura T_0 . — În realitate, funcționarea transformatorului de căldură se abate dela condițiile admise mai sus. Transferul de căldură între exterior și fluidele calorifice se produce la diferențe finite de temperatură, adică se efectuează ireversibil. Cum rezultă din diagrama $T-S$ (v. fig. 11 b), fluidul din motor primește căldura la temperatura $T'_1 < T_1$ și cedează căldura la temperatura $T'_2 > T_2$, ca și fluidul din pompa de căldură, care primește căldura la temperatura $T'_0 < T_0$; ținând seamă de ireversibilitatea procesului de transfer al căldurii, factorul de transformare va fi

$$\psi'_{12} = \frac{T'_2}{T'_1} \cdot \frac{T_1 - T'_0}{T'_2 - T'_0}$$

și $\psi'_{12}/\psi_{12} < 1$. Ciclurile de funcționare ale motorului și pompei de căldură se abat, de asemenea, dela condițiile ciclului Carnot, ceea ce reduce și mai mult eficiența sistemului. Totuși, factorul real de transformare a căldurii rămâne supraunitar în condițiile obișnuite de realizare și funcționare a transformatorului de căldură reductor.

Transformatorul de căldură reductor poate fi folosit de câte ori se dispune de un rezervor la o temperatură mai înaltă decât cea cerută de consumatorul de căldură, situație care se întâlnește frecvent, atât în instalațiile de încălzire,

cât și în instalațiile termice folosite în scopuri tehnologice.

1. Transformator de căldură amplificator [повышающий теплопреобразователь; transformateur amplificateur de chaleur; Wärmeverstärkertransformator; heat amplifying transformer; amplifikátoros hőtranszformátor]: Transformator de căldură prin care se transferă căldură la un rezervor cu o temperatură mai înaltă decât oricare dintre temperaturile rezervoarelor cari o cedează. Acest transformator poate fi termomecanic: cu agregat motor termic-pompă de căldură, sau termochimic (mai ieftin și mai sigur în serviciu).

Fig. 1 reprezintă schematic un transformator de căldură amplificator, care cuprinde: motorul termic M , cu ciclu direct, care primește căldura q'_1 dela rezervorul cu temperatura mijlocie T_1 și cedează căldura q_0 rezervorului cu temperatura mai joasă T_0 (în general, T_0 e temperatura mediului ambiant), efectuând lucrul mecanic l ; pompa de căldură P , cu ciclu inversat, care preia căldura q'_1 dela rezervorul cu temperatura T_1 , absoarbe lucrul mecanic l produs de motor, și cedează căldura q_2 rezervorului cu temperatura mai înaltă T_2 . Deci, transformatorul de căldură primește, dela rezervorul cu temperatură mijlocie, căldura

$$q_1 = q'_1 + q'_0.$$

În ipoteza că motorul termic și pompa de căldură funcționează după ciclul Carnot, se determină: randamentul termic teoretic al motorului

$$\eta_t = 1 - \frac{T_0}{T_1}$$

și echivalentul în căldură al lucrului mecanic efectuat

$$Al = q'_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right);$$

eficiența ciclului pompei de căldură

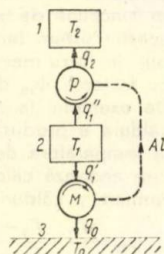
$$\varepsilon_c = \frac{q_2}{Al} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

și factorul de transformare a căldurii

$$\psi_{12} = \frac{q_2}{q_1} = \frac{q_2}{q'_1 + q'_0} = \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0},$$

deoarece $q'_0 = q_2 - Al$.

În diagrama $T-S$ (v. fig. 11), suprafața ciclului 1-2-3-4-1 e proporțională cu echivalentul în căl-



1. Principiul de funcționare a transformatorului de căldură amplificator.

- 1) rezervor termic cu temperatură înaltă T_2 ;
- 2) rezervor termic cu temperatură medie T_1 ;
- 3) rezervor termic cu temperatură joasă T_0 (mediu ambiant); M) motor; P) pompă de căldură; q_0, q'_1, q'_0, q_2) căldură; Al) echivalentul în căldură al lucrului mecanic l .

dură Al al lucrului mecanic efectuat de motorul M , suprafața 4-1-a-b-4 e proporțională cu căldura q_1 primită de motor dela rezervor cu temperatura T_1 , iar suprafața 2-3-b-a-2 e proporțională cu căldura q_0 cedată de motor rezervorului cu temperatura T_0 . Suprafața 5-6-7-8-5 e proporțională cu echivalentul în căldură Al al lucrului mecanic absorbit de pompa de căldură P , suprafața 8-5-d-c-8 e proporțională cu căldura q'_1 luată de pompa de căldură dela rezervor cu temperatura T_1 , iar suprafața 6-7-c-d-6 e proporțională cu căldura q_2 cedată de transformatorul de căldură rezervorului cu temperatura T_2 . Factorul de transformare a căldurii e deci

II. Reprezentarea în diagrama T-S a ciclurilor de funcționare ale transformatorului de căldură amplificator. S) entropie; T) temperatură; q_0, q'_1 căldură; Al) echivalentul în căldură al lucrului mecanic l .

$$\psi_{12} = \frac{\text{supr. } 6-7-c-d-6}{\text{supr. } 1-4-b-a-1 + \text{supr. } 8-5-d-c-8}$$

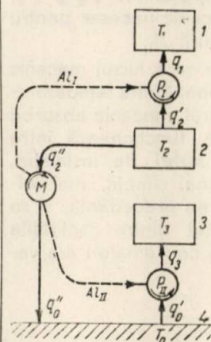
care e totdeauna subunitar la un transformator de căldură amplificator. Irreversibilitatea transferului de căldură dintre fluidele calorifice și exterior, cum și abaterea ciclurilor reale față de ciclul Carnot, provoacă o micșorare a valorii factorului de transformare a căldurii.

Transformatorul de căldură amplificator poate fi folosit de câte ori e necesară o temperatură mai înaltă decât cea realizată cu generatoarele de căldură de cari dispun consumatorii de căldură. Această situație e întâlnită numai în unele dintre instalațiile termice folosite în scopuri tehnologice.

1. Transformator de căldură mixt [комбинированный теплопреобразователь; transformateur mixte de chaleur; gemischter Wärmetransformator; mixed transformer of heat; vegyes hőtranszformátor]; Transformator de căldură prin care se transferă căldură, simultan, la două rezervoare cu temperaturi una mai înaltă și una mai joasă decât cea a rezervorului care o cedează. Transformatorul de căldură mixt cumulează funcțiunile transformatorului reductor și ale transformatorului amplificator. El poate fi termomecanic: cu agregate motor termic-pompă de căldură, termochimic, sau chemomecanic; uneori se construiesc transformatoare mixte cu ejector, folosite numai în partea reductoare a instalației.

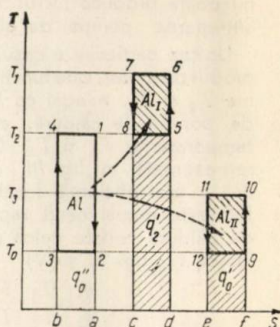
Fig. 1 reprezintă un transformator de căldură mixt, termomecanic, care cuprinde: motorul M , cu ciclu direct, care primește căldura q'_2 dela rezervor cu temperatura T_2 , și cedează căldura q''_0 mediului ambiant (cu temperatura T_0), efectuând lucrul mecanic l ; pompa

de căldură P , cu ciclu inversat, care preia căldura q'_1 dela rezervor cu temperatura T_1 și absoarbe lucrul mecanic l_1 , și cedează căldura q_1 rezervorului cu temperatura T_1 ; pompa de căldură



I. Principiul de funcționare a transformatorului de căldură mixt.

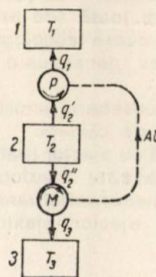
1) rezervor termic cu temperatură înaltă T_1 ; 2) rezervor termic cu temperatură medie T_2 ; 3) rezervor termic cu temperatură joasă T_3 ; 4) rezervor termic cu temperatură T_0 (mediul ambiant); M) motor; P) și P_{II}) pompe de căldură; q_0, q'_1, q'_2, q_3 căldură; Al, Al_I, Al_{II}) echivalentul în căldură al lucrului mecanic.



II. Reprezentarea în diagrama T-S a ciclurilor de funcționare ale transformatorului de căldură mixt.

S) entropie; T) temperatură; q_0, q'_1, q'_2, q_3 căldură; Al, Al_I, Al_{II}) echivalentul în căldură al lucrului mecanic.

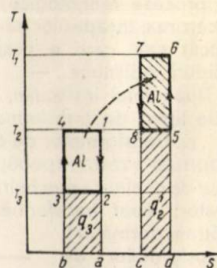
dură P_{II} , de asemenea cu ciclu inversat, care preia căldura q_0 dela mediul ambiant și absoarbe lucrul mecanic $l_{II} = l - l_1$, și cedează căldura q_3



III. Principiul de funcționare a transformatorului de căldură mixt la care

$$\frac{q_1}{q_3} = \frac{T_1}{T_3} \cdot \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2}$$

1) rezervor termic cu temperatură înaltă T_1 ; 2) rezervor termic cu temperatură medie T_2 ; 3) rezervor termic cu temperatură joasă T_3 ; M) motor; P) pompă de căldură; q_1, q'_1, q'_2, q_3 căldură; Al) echivalentul în căldură al lucrului mecanic l .



IV. Reprezentarea în diagrama T-S a ciclurilor de funcționare ale transformatorului de căldură mixt, la care

$$\frac{q_1}{q_3} = \frac{T_1}{T_3} \cdot \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2}$$

S) entropie; T) temperatură; q'_1, q_3 căldură; Al) echivalentul în căldură al lucrului mecanic l .

rezervorului cu temperatura T_3 . — În diagrama T-S (v. fig. II) sunt reprezentate ciclurile de

funcționare atât ale motorului transformatorului de căldură mixt, cât și ale celor două pompe de căldură. Acest tip de transformator de căldură mixt se folosește când motorul termic, care ar putea funcționa între temperaturile T_2 și T_3 , nu poate produce lucrul mecanic necesar pentru antrenarea pompei de căldură P_1 .

Un caz particular e cazul în care lucrul mecanic produs de motor, care funcționează între temperaturile T_2 și T_3 , e egal cu lucrul mecanic absorbit de pompa de căldură, care funcționează între temperaturile T_2 și T_1 . O astfel de instalație, reprezentată în fig. III, e mai simplă, mai ieftină și mai eficientă decât cea precedentă, și se folosește numai când raportul dintre cantitățile de căldură cedate celor doi consumatori are valoarea (v. fig. III și IV)

$$\frac{q_1}{q_3} = \frac{T_1}{T_3} \cdot \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2}$$

Dacă

$$\frac{q_1}{q_3} < \frac{T_1}{T_3} \cdot \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2},$$

lucrul mecanic efectuat de motor e mai mare decât lucrul mecanic absorbit de pompa de căldură, astfel încât rămâne un disponibil utilizabil în exteriorul instalației de transformare a căldurii.

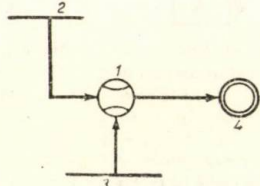
Eficiența transformatorului de căldură mixt se determină dela caz la caz, în funcție de căldura schimbată cu exteriorul și de temperaturile rezervoarelor termice (v. Transformare, factor de ~ a căldurii).

Transformatorul de căldură mixt se folosește în instalațiile în cari e necesar să se obțină simultan încălziri la temperatură mai înaltă (de ex. în procese tehnologice) și mai joasă (de ex. la încălzirea încăperilor sau în procese tehnologice) decât cea care e posibilă cu generatoare de căldură obișnuite.

După felul instalației, se deosebesc următoarele tipuri de transformatoare de căldură:

1. Transformator de căldură cu ejector [эжекторный теплопреобразователь; transformateur de chaleur à éjecteur; Wärmeauswerfertransformator; heat transformer with ejector; ejetektoros hőtranszformátor]:

Transformator de căldură alcătuit dintr'un ejector cu abur, pentru abur, în care fluidul antrenant e abur de joasă presiune, iar fluidul antrenat e abur de înaltă presiune (v. fig.). În acest ejector, la trecerea aburului de înaltă presiune prin ajutaje cu convergență, o parte din energia acestuia se transformă în energie cinetică, folosită pentru antrenarea aburului de joasă presiune într'o pâlnie cu divergență,



Schema unui transformator de căldură cu ejector.

1) ejector; 2) conductă cu abur de înaltă presiune (dela cazan); 3) conductă cu abur de joasă presiune (abur de priză sau abur deșeu); 4) consumator de căldură cu temperatură medie.

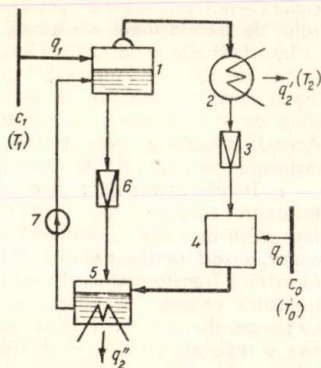
unde se comprimă aburul antrenant (din ajutajele convergente) și aburul antrenat, obținând o creștere de entalpie a aburului amestecat (în pâlnia cu divergență fiind transformat în căldură lucrul mecanic de destindere a aburului de antrenare); astfel, amestecul de abur ajunge la o temperatură mai înaltă decât cea a mediului căruia urmează să i se transfere căldură.

Transformatorul de căldură cu ejector poate fi numai de tipul reductor. Acest transformator e mai răspândit, având o construcție simplă și funcționare sigură, iar prețul de revenire fiind relativ mic; totuși, eficiența transformatorului cu ejector descreește mult când crește raportul de transformare a căldurii, deci când crește diferența dintre temperatura mediului care urmează să fie încălzit și temperatura aburului de joasă presiune.

2. ~ de căldură termochimic [термохимический теплопреобразователь; transformateur thermochemique de chaleur; thermochemischer Wärmetransformator; thermochemical heat transformer; termokémikus hőtranszformátor]: Transformator de căldură static, cu absorpție, în care agentul calorific e apa sau aburul, iar masa absorbantă e o substanță (de ex. KOH, NaOH sau CaCl_2) care absoarbe aburul la temperaturi joase și-l cedează la temperaturi înalte. Acest transformator de căldură poate fi reductor, amplificator, sau mixt.

Fig. 1 reprezintă un transformator reductor, cu următoarea funcționare: soluția din fierbătorul (1) degajă vapori, datorită căldurii q_1 cedată de aburul cu temperatura T_1 , care e adus prin conductă (c_1) de înaltă presiune; vaporii se condensează la temperatura

T_2 în condensatorul (2) și cedează căldura q_2' mediului exterior, cu temperatura $T_0 < T_2$; condensatul, care suferă o pierdere de presiune (și, lot odată, scăderea temperaturii de saturație) la trecerea prin valva de laminare (3), ajunge în evaporatorul (4) și degajă vapori, datorită căldurii q_0 cedată de aburul-deșeu sau de mediul exterior (cu temperatura T_0); vaporii de joasă presiune trec în absorbitorul (5) și sunt captați de masa absorbantă, a cărei temperatură devine T_3 , astfel încât se cedează căldura q_3' mediului



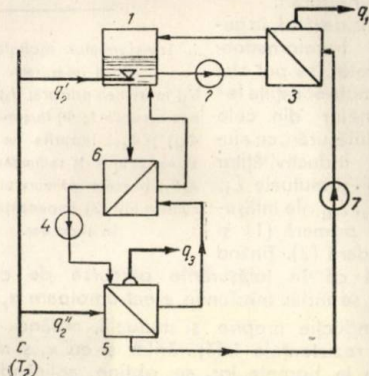
1. Schema unui transformator de căldură termochimic reductor.

c_0) conductă cu abur de joasă presiune (abur la temperatura T_0); c_1) conductă cu abur de înaltă presiune (abur la temperatura T_1); q_0 , q_1 , q_2' , q_3' căldură; 1) fierbător; 2) condensator; 3), 6) valvă de laminare; 4) evaporator; 5) absorbitor; 7) pompă.

presiune trec în absorbitorul (5) și sunt captați de masa absorbantă, a cărei temperatură devine T_3 , astfel încât se cedează căldura q_3' mediului

exterior; soluția cu concentrație mare revine în fierbătorul (1), fiind refuțată de pompa (7), iar soluția slab concentrată din fierbător ajunge în absorbitorul (5), prin valva de laminare (6). Factorul real de transformare a căldurii e $\psi'_{12} < (q_2' + q_2'')/q_1$, deoarece trebuie să se țină seamă de pierderile din pompă, de pierderile din procesele de absorbție, etc.

Fig. 11 reprezintă un transformator mixt, cu următoarea funcționare: aburul cu temperatura T_2 , care e adus prin conducta (c) de medie presiune, e absorbit în soluția din absorbitorul (1), a cărei temperatură devine mai înaltă decât a aburului; soluția e refuțată de pompa (2) în generatorul de înaltă presiune (3), care produce abur cu temperatura $T_1 > T_2$, cedând căldura q_1 unui mediu cu temperatura $T_1 > T_0$ (T_0 fiind



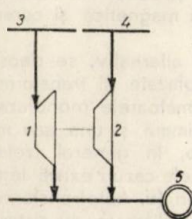
11. Schema unui transformator de căldură termochimic mixt. 1) absorbitor; 2) pompă; 3) generator de abur de înaltă presiune; 4, 7) pompă; 5) generator de abur de joasă presiune; 6) schimbător de căldură; $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8, q_9, q_{10}, q_{11}, q_{12}, q_{13}, q_{14}, q_{15}, q_{16}, q_{17}, q_{18}, q_{19}, q_{20}, q_{21}, q_{22}, q_{23}, q_{24}, q_{25}, q_{26}, q_{27}, q_{28}, q_{29}, q_{30}, q_{31}, q_{32}, q_{33}, q_{34}, q_{35}, q_{36}, q_{37}, q_{38}, q_{39}, q_{40}, q_{41}, q_{42}, q_{43}, q_{44}, q_{45}, q_{46}, q_{47}, q_{48}, q_{49}, q_{50}, q_{51}, q_{52}, q_{53}, q_{54}, q_{55}, q_{56}, q_{57}, q_{58}, q_{59}, q_{60}, q_{61}, q_{62}, q_{63}, q_{64}, q_{65}, q_{66}, q_{67}, q_{68}, q_{69}, q_{70}, q_{71}, q_{72}, q_{73}, q_{74}, q_{75}, q_{76}, q_{77}, q_{78}, q_{79}, q_{80}, q_{81}, q_{82}, q_{83}, q_{84}, q_{85}, q_{86}, q_{87}, q_{88}, q_{89}, q_{90}, q_{91}, q_{92}, q_{93}, q_{94}, q_{95}, q_{96}, q_{97}, q_{98}, q_{99}, q_{100}$ căldură; c) conductă cu abur de presiune medie (dela căldarea de abur).

temperatura mediului exterior); soluția cu concentrație mică de absorbant e refuțată, de pompa (4), din absorbitorul (1) în generatorul de joasă presiune (5), care produce abur cu temperatura $T_3 < T_2$, cedând mediului exterior căldura q_3 ; soluția cu concentrație mare se întoarce din generatorul (5) în absorbitorul (1), trecând prin schimbătorul de căldură (6), iar condensatul (de presiune medie) e refuțat de pompa (7) în generatorul (3). Astfel, acest transformator, care primește căldura $q_2 + q_2'$ la temperatura T_2 , poate ceda căldură la temperatură mai înaltă sau mai joasă decât aceasta (adică la $T_1 > T_2$, respectiv la $T_3 < T_2$).

Transformatorul de căldură termochimic prezintă avantajele că are o funcționare sigură și că prețul lui de revenire e relativ mic; eficiența lui e comparabilă cu cea a transformatorului termomecanic.

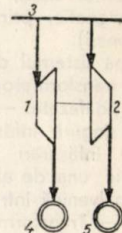
1. Transformator de căldură termomecanic [термомеханический теплопреобразователь; transformateur thermomécanique de chaleur; thermomechanischer Wärmetransformator; thermo-

mechanical heat transformer; termomechanikus hő-transzformátor]: Transformator de căldură cu un agregat (v. fig. 1) alcătuit dintr'un motor termic, de exemplu motor cu ardere internă sau motor cu abur, și din una sau mai multe pompe de căldură, de exemplu compresoare cu piston sau cu rotor. În motorul termic, o parte din entalpia agentului



1. Schema unui transformator de căldură termomecanic reductor.

1) turbină; 2) turbocompresor; 3) conductă cu abur de înaltă presiune (dela căldarea cu abur); 4) conductă cu abur de joasă presiune; 5) consumator de căldură cu medie temperatură.



11. Schema unui transformator de căldură termomecanic mixt.

1) turbină; 2) turbocompresor; 3) conductă cu abur de medie presiune (dela căldarea cu abur); 4) consumator de căldură cu temperatură joasă; 5) consumator de căldură cu temperatură înaltă.

său calorific e folosită pentru a produce lucrul mecanic de antrenare a pompei de căldură (în motor fiind transformată căldura în lucru mecanic), astfel încât să se obțină comprimarea agentului calorific al pompei de căldură, respectiv creșterea entalpiei acestuia (în pompă fiind transformat lucrul mecanic în căldură); în acest mod, agentul calorific al pompei ajunge la o temperatură mai înaltă decât cea a mediului căruia urmează să i se transfere căldură.

Transformatorul de căldură termomecanic poate fi folosit, atât ca transformator reductor sau amplificator, cât și ca transformator mixt (v. fig. 11). Acest transformator, deși are o eficiență destul de mare, nu e mult răspândit, deoarece prețul de revenire e mare.

2. Transformator electric, pl. transformatoare electrice [электрический трансформатор; transformateur électrique; Transformator, Umspanner; transformer; villamos transzformátor]. Elt.: Aparat de curent alternativ, care transmite prin inducție mutuală, fără intervenția vreunei mișcări, putere electromagnetice dintr'o înfășurare electrică primară sau dintr'un sistem de înfășurări primare, în una, eventual în mai multe înfășurări secundare sau în sisteme de înfășurări secundare, în cari se stabilesc în acest fel tensiuni la borne și curenți, în general diferiți de cei din primar, — și având o frecvență care diferă numai în cazuri speciale de frecvența din primar.

Cuplajul magnetic necesar pentru inducția mutuală se realizează printr'o dispoziție relativă potrivită a primarului și secundarului, astfel încât câmpul magnetic alternativ al curenților cari trec

prin înfășurările unuia dintre sistemele primar și secundar să dea un flux magnetic cât mai mare prin înfășurările celui alt sistem; la curenți de frecvență destul de joasă, înfășurările primare și cele secundare au deci circuite feromagnetice comune (în înaltă frecvență, acest mijloc de strângere a cuplajului magnetic nu poate fi folosit, din cauza pierderilor mari, cari s'ar produce în circuitul feromagnetic, prin istereză magnetică și curenți turbionari).

După sistemul de curent alternativ, se deosebesc transformatoare monofazate și transformatoare polifazate. — Transformatoarele monofazate au o singură înfășurare primară și una sau mai multe înfășurări secundare, în general izolate electric una de alta. În unele cazuri există legătură galvanică între înfășurări (v. Autotransformator). — Transformatoarele polifazate au sisteme de înfășurări polifazate. — Afară de înfășurarea sau de înfășurările primare, cari absorb energie electromagnetă de la sursa de alimentare a transformatorului, și afară de înfășurarea sau înfășurările secundare, cari debitează energie receptoarelor alimentate prin transformator, acesta poate avea și înfășurări auxiliare, cari se numesc înfășurări terțiare. Transformatoarele polifazate pot fi cu același număr de faze sau cu numere diferite de faze în primar și în secundar (v. Transformator Scott și Transformator Leblanc).

După felul circuitului feromagnetic, se deosebesc transformatoare cu coloane, al căror circuit feromagnetic are coloane paralele și pe unele dintre ele, înfășurări electrice înconjurate numai în parte de fier, și transformatoare cuirasate, cu culasă sau cu manta, ale căror înfășurări sunt înconjurate în cea mai mare parte de fier.

După cuplajul înfășurărilor electrice primare și secundare, se deosebesc transformatoare cu înfășurări separate, ale căror înfășurări sunt cuplate numai magnetic, și autotransformatoare, ale căror înfășurări au părți comune și sunt cuplate magnetic. După tipul înfășurărilor, transformatoarele se împart în transformatoare cu înfășurări cilindrice sau concentrice, cu înfășurări bicilindrice sau biconcentrice, și cu înfășurări alternate, cu galeți alternativ primari și secundari, alăturate axial (v. Înfășurare de transformator electric).

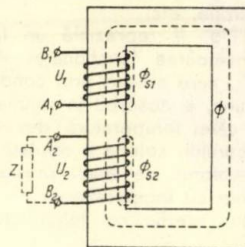
Conductoarele înfășurărilor se execută din cupru electrolitic, uneori din aluminiu, iar circuitul feromagnetic, din tole de tablă de oțel electrotehnic (tablă silicioasă mijlociu aliată sau superaliată).

După mediul care asigură răcirea, se deosebesc transformatoare uscate, în cari mediul de răcire e aerul, și transformatoare în ulei, în cari mediul de răcire e uleiul dintr-o cuvă, în care se găsește și transformatorul propriu zis.

În general, un transformator se construiește pentru un anumit serviciu nominal, definit prin succesiunea în timp a regimurilor pentru cari e destinat de producător, regimuri caracterizate prin mărimile nominale ale parametrilor transformatorului (putere, tensiuni, curenți, frecvență).

După felul în care înfășurarea primară e legată în circuitul ei de alimentare, se deosebesc: transformatoare paralele, la cari tensiunea primară e impusă de circuitul de alimentare, înfășurarea primară fiind legată în paralel la acest circuit, — și transformatoare serie, la cari curentul primar e impus de circuitul de alimentare, înfășurarea primară fiind legată în serie în acest circuit, presupus de impedanță mare față de impedanța echivalentă a înfășurării primare.

Fig. 1 reprezintă schematic un transformator monofazat cu două înfășurări.



1. Transformator monofazat cu două înfășurări.

U_1) tensiunea primară; U_2) tensiunea secundară; Φ) flux magnetic; Φ_{S1} și Φ_{S2}) fluxurile de dispersiune, primar și secundar; $A_1 B_1$, $A_2 B_2$) bornele primarului și secundarului; Z) impedanță legată în secundar.

Considerând, în general, transformatoarele paralele, se pot stabili simple ecuațiile fenomenelor din cele două înfășurări, cu ajutorul inductivităților proprii și mutuale L_1 , L_2 , L_{12} , L_{21} ale înfășurărilor primară (1) și secundară (2). Ținând

$$u_{e1} = R_1 i_1 - u_1 = - \frac{d\Phi_1}{dt} = -L_{11} \frac{di_1}{dt} - L_{21} \frac{di_2}{dt};$$

$$u_{e2} = R_2 i_2 - u_2 = - \frac{d\Phi_2}{dt} = -L_{22} \frac{di_2}{dt} - L_{12} \frac{di_1}{dt}.$$

Presupunând tensiuni armonice, de pulsație ω , și inductivități constante, utilizând reprezentarea mărimilor armonice prin mărimi complexe și operând cu mărimile efective, se fac înlocuirile:

$$u_1 \rightarrow \bar{U}_1; \quad i_1 \rightarrow \bar{I}_1; \quad u_2 \rightarrow \bar{U}_2; \quad i_2 \rightarrow \bar{I}_2 \quad \text{și} \quad \frac{d}{dt} \rightarrow j\omega.$$

Se obțin astfel, după ordonare, ecuațiile:

$$(1) \quad \begin{aligned} \bar{U}_1 &= (R_1 + j\omega L_{11}) \bar{I}_1 + j\omega L_{21} \bar{I}_2, \\ \bar{U}_2 &= j\omega L_{12} \bar{I}_1 + (R_2 + j\omega L_{22}) \bar{I}_2. \end{aligned}$$

În aceste ecuații se pot utiliza reactanțele corespunzătoare inductivităților:

$$X_{11} = \omega L_{11}; \quad X_{22} = \omega L_{22}; \quad X_{12} = X_{21} = \omega L_{12} = \omega L_{21}.$$

Ținând seamă de relația $\bar{U}_2 = -\bar{Z}_2 \bar{I}_2$, în care $\bar{Z}_2$ e impedanța receptorului legat la secundarul transformatorului, se obține:

$$(2) \quad \begin{aligned} \bar{U}_1 &= (R_1 + jX_{11}) \bar{I}_1 + jX_{12} \bar{I}_2, \\ 0 &= jX_{12} \bar{I}_1 + (R_2 + jX_{22} + \bar{Z}_2) \bar{I}_2. \end{aligned}$$

O a treia formă a ecuațiilor, utilizată în studii

tehnic al fenomenelor din transformator, se obține împărțind inductivitățile sau reactanțele în inductivități utile și de dispersiune. Dacă N_1 și N_2 sunt numerele de spire ale înfășurărilor primară și secundară, reactanțele de dispersiune au expresiunile:

$$X_{d12} = X_{11} - \frac{N_1}{N_2} X_{12}; \quad X_{d21} = X_{22} - \frac{N_2}{N_1} X_{21}.$$

Fluxul magnetic fascicular comun celor două înfășurări are expresiunea:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \Phi_{max} = (N_1 \bar{I}_1 + N_2 \bar{I}_2) \frac{X_{11} - X_{d12}}{\omega N_1^2} = (N_2 \bar{I}_2 + N_1 \bar{I}_1) \frac{X_{22} - X_{d21}}{\omega N_2^2},$$

iar tensiunile electromotoare utile, induse de el în cele două înfășurări, sunt:

$$\bar{U}_{e1} = -j\omega N_1 \frac{\Phi_{max}}{\sqrt{2}};$$

$$\bar{U}_{e2} = -j\omega N_2 \frac{\Phi_{max}}{\sqrt{2}}.$$

Ținând seamă de aceste relații, din ultima formă a ecuațiilor transformatorului se obține:

$$(3) \quad \begin{aligned} \bar{U}_1 &= -\bar{U}_{e1} + (R_1 + jX_{d12})\bar{I}_1; \\ \bar{U}_2 &= -\bar{U}_{e2} + (R_2 + jX_{d21})\bar{I}_2. \end{aligned}$$

Tensiunea magnetomotoare pe care cele două înfășurări parcurse de curenții I_1 și I_2 o stabilesc de-a-lungul circuitului magnetic al transformatorului are expresiunea:

$$(4) \quad 4\pi (N_1 \bar{I}_1 + N_2 \bar{I}_2) = 4\pi N_1 \bar{I}_m,$$

unde I_m se numește curentul magnetizant, redus la primar, al transformatorului.

Regimul în gol al transformatorului e regimul în care înfășurarea secundară e deschisă (fără sarcină). În acest caz, $\bar{I}_2 = 0$ și $\bar{I}_1 = \bar{I}_m$, adică înfășurarea primară e parcursă de curentul de mers în gol, care produce fluxul comun, la bornele ei fiind aplicată tensiunea $\bar{U}_1$. Curentul de mers în gol reprezintă, în general, numai câteva procente din curentul primar nominal; deci căderile de tensiune corespunzătoare se pot neglija și ecuațiile (3) devin, la mersul în gol,

$$(5) \quad \bar{U}_1 = -\bar{U}_{e1}; \quad \bar{U}_{20} = -\bar{U}_{e2}.$$

Raportul dintre tensiunile electromotoare utile primară și secundară în gol se numește raport de transformare:

$$(6) \quad k = \frac{U_{e1}}{U_{e2}} \approx \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}}.$$

Raportul de transformare e deci aproximativ egal cu raportul de înfășurare $N_1:N_2$.

La mersul în gol, pierderile de putere din transformator sunt, în principal, pierderi în oțelul

circuitului feromagnetic. Mărirea acestora depinde de calitatea, grosimea și prelucrarea tolei utilizate, de frecvența fluxului alternativ și de maximul inducției magnetice în miezul de oțel.

Mersul în scurt-circuit e regimul de funcționare cu înfășurarea secundară închisă în scurt-circuit și cu primarul alimentat cu o tensiune redusă (U_{sc}), astfel încât înfășurările să fie parcurse de curenții lor nominali; acest regim constituie scurt-circuitul de încercare, spre deosebire de scurt-circuitul accidental, de exploatare, care corespunde alimentării cu tensiune primară nominală. Tensiunea U_{sc} se numește tensiune de scurt-circuit; ea reprezintă, în general, câteva procente din tensiunea nominală. În acest regim, fluxul comun celor două înfășurări are o valoare foarte mică; deci tensiunea magnetomotoare corespunzătoare e neglijabilă; rezultă din (4)

$$(7) \quad N_1 \bar{I}_1 + N_2 \bar{I}_2 \approx 0,$$

sau, în valori absolute:

$$(8) \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \approx \frac{1}{k}.$$

Rezultă că raportul dintre curenți se poate deduce din raportul de înfășurare.

În scurt-circuit, ecuațiile (3) iau forma:

$$(9) \quad \begin{aligned} \bar{U}_{sc} &= -\bar{U}_{e1} + (R_1 + jX_{d12})\bar{I}_1; \\ 0 &= -\bar{U}_{e2} + (R_2 + jX_{d21})\bar{I}_2. \end{aligned}$$

La mersul în scurt-circuit cu tensiune redusă, pierderile de putere din transformator sunt, în principal, pierderile din conductoarele înfășurărilor electrice. Mărirea acestora depinde de materialul utilizat pentru conductoare și de densitatea de curent din ele.

Pentru a ușura compararea mărimilor secundare cu cele primare și trăsarea diagramelor polare, înfășurarea secundară se înlocuiește, în scheme, cu o înfășurare echivalentă, care are un număr de spire egal cu cel al înfășurării primare. Pentru ca această schimbare să nu influențeze, la sarcină secundară dată, regimul de funcționare normal, mărimile secundare trebuie modificate, raportate sau reduse la primar. Mărimile secundare reduse la primar sunt:

$$(10) \quad \begin{aligned} U'_{e2} &= k U_{e2} = U_{e1}; \quad I'_2 = \frac{1}{k} I_2; \\ R'_2 &= k^2 R_2; \quad X'_{d21} = k^2 X_{d21}. \end{aligned}$$

Cu aceste mărimi, relațiile (3) iau forma:

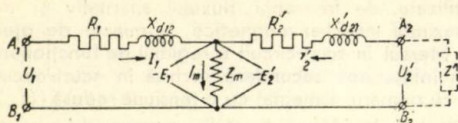
$$(11) \quad \begin{aligned} -\bar{U}_{e1} &= \bar{U}_1 - (R_1 + jX_{d12})\bar{I}_1 \\ &= -U'_{e2} = \bar{U}'_2 - (R'_2 + jX'_{d21})\bar{I}'_2. \end{aligned}$$

Aceasta permite să se stabilească schema echivalentă a unui transformator, reprezentată în fig. 11.

Ținând seamă că, la funcționarea în sarcină $\bar{I}'_2 = -\bar{I}_1$, rezultă că tensiunea secundară redusă la primar e, în acest caz:

$$(12) \quad \bar{U}'_2 = \bar{U}_1 - [(R_1 + R'_2) + j(X_{d12} + X'_{d21})]\bar{I}_1.$$

ceea ce arată că variația de tensiune secundară între regimurile în gol și în sarcină depinde de



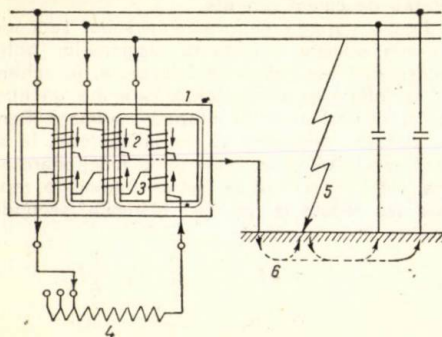
II. Schema echivalentă a unui transformator.

U_1) tensiune primară la borne; A_1) și B_1) bornele primarului; R_1 și X_{d12}) rezistența și reactanța primarului; E_1) tensiunea electromotoare primară; E_2') tensiunea electromotoare secundară redusă la primar; U_2') tensiune secundară la borne redusă la primar; R_2' și X_{d21}) rezistența și reactanța secundarului redusă la primar; A_2) și B_2) bornele secundarului; I_m) curentul de magnetizare; Z_m) impedanța interioară; I_1) curentul primar; I_2') curentul secundar redus la primar; Z') impedanța exterioară redusă la primar.

mărima și de natura sarcinii și de parametrii $R_1, R_2', X_{d12}, X_{d21}$ ai înfășurărilor.

1. Transformator Bauch [трансформатор Бауха; transformateur B.; B. Transformator; B.'s transformer; B. transformator]: Transformator pentru stingerea arcului de scurgere la pământ în rețele cu neutrul izolat, bazat pe principiul bobinei Petersen (v.), adică pe compensarea curentului capacitiv de scurgere la pământ, printr-un curent inductiv de aceeași valoare (rezonanță de curent a două circuite în derivație).

Se compune dintr-un transformator cu circuitul magnetic independent, cu patru sau cu cinci coloane, cu o înfășurare primară trifazată în stea și o înfășurare secundară în triunghi deschis, la care e legată o bobină de reactanță. Neutrul înfășurării primare e legat la pământ. Valoarea



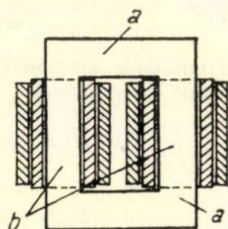
Transformator Bauch.

1) transformator cu cinci coloane; 2) primarul legat în stea cu neutrul legat la pământ; 3) secundarul legat în triunghi; 4) bobină de reactanță; 5) conductor ajuns la pământ; 6) curent de compensare.

reactanței, raportată la primar, ținând seamă de conexiune, trebuie să satisfacă condițiunea de rezonanță $X = \frac{1}{\omega C_p}$, în care C_p e capacitatea față de pământ a rețelei de compensat.

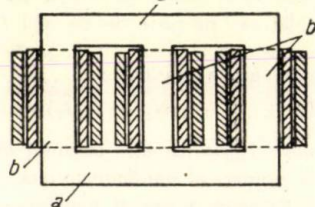
Când un conductor al rețelei ajunge la pământ, tensiunea fazei respective a transformatorului scade la zero, iar celelalte două tensiuni cresc de $\sqrt{3}$ ori. Fluxurile celor trei coloane înfășurate nu mai sunt simetrice, suma lor nu mai e nulă. În înfășurarea secundară se stabilește o tensiune care produce un curent dat de reactanța bobinei. Acest curent are ca urmare curenți egali și de aceeași fază în înfășurările primare. Suma lor formează curentul inductiv de compensare, și deci de stingere sau delimitare a curentului de scurgere la pământ. Sin. Transformator de stingere.

2. ~ cu coloane [стержневой (сердечниковый) трансформатор; transformateur à colonnes; Kerntransformator; core-type transformer; oszloptranszformátor]: Transformator cu o anumită formă a circuitului magnetic: la transformatorul monofazat, două coloane, având câte jumătate din spirele înfășurărilor primare și secundare, coloanele fiind legate prin două juguri (v. fig. I); la transformatorul trifazat, trei coloane așezate în același plan, execuție care prezintă mari avantaje în fabricație (v. fig. II); la transformatoarele trifazate mari, uneori cinci coloane, având, afară de cele trei coloane cu înfășurări, și două coloane fără înfășurări, în același plan cu primele (v. fig. III).



I. Transformator monofazat, cu coloane.

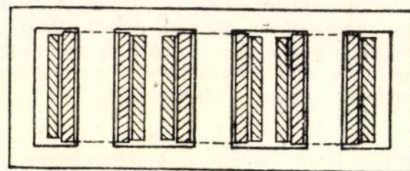
a) juguri; b) coloane.



II. Transformator trifazat, cu trei coloane

a) juguri; b) coloane.

Avantajul ultimei construcții constă în faptul că reduce înălțimea jugurilor cu cca 40% și deci înălțimea

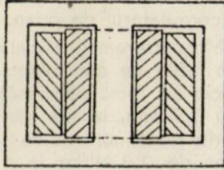


III. Transformator trifazat, cu cinci coloane.

țimea întregului transformator, ceea ce prezintă importanță pentru posibilitatea transportului pe calea ferată a unităților mari, pentru posibilitatea transportului transformatoarelor în mine, etc.

3. ~ cu mantă [броневой (панцирный) трансформатор; transformateur cuirassé; Mantel-

transformator; shell-type transformer; köpeny-transzformátor]: Transformator ale cărui înfășurări sunt așezate pe o coloană mediană a miezului, două sau mai multe coloane exterioare cuprinzând înfășurările ca o culasă sau manta. Această formă a miezului se utilizează la transformatoarele mici monofazate și la transformatoarele de măsură, de tensiune; la acestea, tolele care formează miezul sunt așezate într'un singur plan (v. fig.). Se utilizează și pentru transformatoarele de curent alternativ monofazat, pe locomotivele electrice.

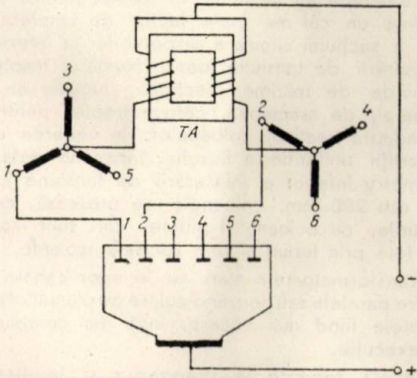


Transformator monofazat, cu manta.

Transformatoarele monofazate de putere foarte mare se construiesc uneori în manta, cu miezul compus din mai multe miezuri parțiale, dispuse radial, simetric față de axa înfășurării.

Transformatorul în manta trifazat e combinat constructiv din trei transformatoarele cu manta monofazate, având coloanele mediane dispuse în prelungire. Se construiește foarte rar. — Sin. Transformator cuirasat, Transformator cu culasă.

1. Transformator electric de absorpție [отсасывающий трансформатор; transformateur électrique d'absorption; elektrischer Saugtransformator; electric booster transformer; abszorbcios villamos transzformátor]: 1. Transformator cu înfășurarea primară, respectiv secundară, legată în serie cu firul de cale, respectiv cu firul de întoarcere la pământ al unei linii de tracțiune electrică, spre a micșora dispersiunea în sol a curentului. — 2. Bobină de reactanță utilizată la conexiunea dublu-trifazată a transformatoarelor pentru redresoare hexaanozice și la conexiuni analoge pentru redresoare cu doisprezece anozii.

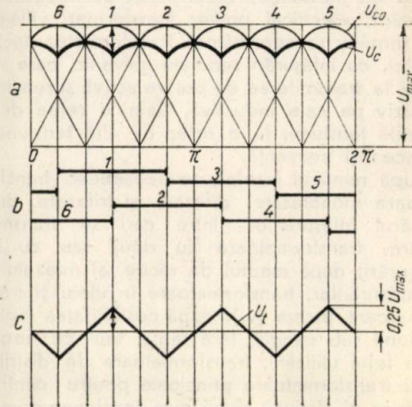


1. Transformator de absorpție.

TA) transformator de absorpție; 1)...6) bornele înfășurărilor secundare ale transformatorului de redresor.

La conexiunea dublu-trifazată, cea mai răspândită pentru redresoare mari, transformatorul

redresorului are două înfășurări secundare separate, cari formează stele defazate cu 180° una față de alta, punctele lor neutre fiind legate prin transformatorul de absorpție. Punctul median al înfășurării acestuia e legat la polul negativ al instalației de redresare (v. fig. I). — Dacă cele două puncte neutre ar fi legate direct, s'ar obține conexiunea hexafazată simplă, care prezintă desavantajul unei slabe utilizări a transformatorului de redresor, fiindcă fiecare anod arde numai o șesime de perioadă. Transformatorul de absorpție prelungește durata de ardere a fiecărui anod la o treime de perioadă, menținând în același timp pulsația avantajoasă a conexiunii hexafazate. — Pentru ca în cele două sisteme trifazate să ardă simultan câte un anod (de ex. 1 și 2, în fig. II), e necesar ca tensiunile lor să



II. Variația tensiunilor și a curenților în transformatorul de absorpție.

a) tensiunea continuă U_C în sarcină, U_{CO} în gol; 1)...6) tensiunile secundare de fază ale transformatorului de redresor; b) schema curenților anodici; c) tensiunea U_L pe jumătatea înfășurării transformatorului de absorpție.

să fie egale. Valorile instantanee ale tensiunilor de fază respective nu sunt însă egale. Transformatorul de absorpție preia diferența dintre cele două tensiuni, egalizând tensiunea anozilor la o valoare medie U_C . Tensiunea care revine fiecărei jumătăți înfășurării transformatorului de absorpție e U_L . Ea are frecvența $3f$, iar valoarea efectivă a tensiunii sinusoidale echivalente e cca 25% din tensiunea de fază secundară. Această proporție e valabilă numai pentru redresorul fără comandă prin grilă; altfel, ea poate crește până la 65%, la un reglaj al tensiunii de 100%.

Cele două jumătăți ale înfășurării transformatorului de absorpție sunt astfel parcurse de curentul continuu, încât magnetizările lor sunt antagoniste. Curentul de magnetizare corespunzător tensiunii U_L se închide prin arcul celor doi anozii cari ard simultan, fără a trece în circuitul exterior. Dacă curentul continuu scade sub o

anumită valoare critică (de obicei, 1% din curentul nominal), curentul de magnetizare al transformatorului de absorbție nu mai poate trece prin redresor, conexiunea funcționează cu schemă hexafazată normă — și tensiunea crește brusc cu cca 15%. Pentru a elimina această ridicare de tensiune a redresorului la sarcină mică, periculoasă pentru receptoarele sensibile, transformatorul de absorbție e magnetizat uneori separat, cu frecvență triplă, cu ajutorul unui mic transformator static de frecvență, funcționând cu miezul puternic saturat. O altă posibilitate consistă în legarea unei sarcini permanente, de mărime potrivită. — Sin. Bobină de absorbție, Reactor de egalizare.

1. Transformator electric de putere [силовой электротрансформатор; transformateur électrique de puissance; elektrischer Leistungstransformator; electrical power transformer; villamos teljesítmény transzformátor]: Transformator electric paralel, cu înfășurări separate galvanic, care servește la transmiterea de putere activă și reactivă, exclusiv pe cale inductivă, dela o rețea de o anumită tensiune, la o rețea de altă tensiune și de aceeași frecvență.

După numărul fazelor, se deosebesc transformatoare monofazate, difazate și trifazate; după numărul înfășurărilor între cari se transmite putere, transformatoare cu două sau cu trei înfășurări; după mediul de răcire al miezului și al înfășurărilor, transformatoare în ulei și transformatoare uscate (v.); după posibilitatea reglării tensiunii sub sarcină, fără reglaj sau cu reglaj; după felul utilizării, transformatoare de distribuție și transformatoare principale pentru centrale electrice și stațiuni; după cum tensiunea primară e mai înaltă sau mai joasă decât cea secundară transformatoare coboritoare, și transformatoare ridicătoare de tensiune.

Transformatoarele de putere au puterea nominală cuprinsă între 5 și cca 150 000 kVA; ele se construiesc pentru tensiuni până la 400 kV și sunt, în majoritate, transformatoare în ulei trifazate. Transformatoarele de putere în ulei monofazate se folosesc în rețele de tracțiune de 16 $\frac{2}{3}$ și 25 Hz. — Se execută și unități mari monofazate, pentru a putea fi mai ușor transportate și montate la locul de exploatare, unde sunt legate în grupuri trifazate. — Transformatoare difazate se mai folosesc numai în rețele vechi, difazate — sau pentru a alimenta aceste rețele din rețele trifazate (transformatoarele în conexiune Scott sau Leblanc).

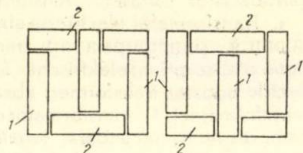
Transformatoarele hexafazate și dodecafazate pentru mutatoarele, cum și transformatoarele de sudură, cele pentru cuptoarele electrice, cele de încercare, etc., fac parte din categoria transformatoarelor speciale.

Transformatoarele de putere mică, până la cca 2 kVA, de joasă tensiune, de obicei monofazate, în execuție uscată (v.), formează categoria microtransformatoarelor, prin cari se obțin tensiuni nepericuloase, pentru protecțiunea muncii,

la adaptarea tensiunii pentru mici receptoare individuale, etc.

Un transformator de putere în ulei, fără reglaj, are următoarele părți principale: miezul feromagnetic, schela, înfășurările, cuva de ulei, conservatorul de ulei, izolațiile de trecere și comutatorul de prize.

Miezul feromagnetic al transformatorului e format din table de oțel mijlociu aliat sau superaliat cu siliciu (v. Tablă silicioasă), cu grosimea de 0,35 sau 0,5 mm, izolate cu hârtie sau cu lac. Pierderile tablei normale de transformator, de 0,35 mm, sunt de 1,3 W/kg la 1 Wb/m² (10 000 gauși). Se folosește și tablă cu pierderi mai mici, în special tablă laminată la rece. — După construcția miezului feromagnetic, se deosebesc transformatoare cu coloane (v.), la cari mari părți ale înfășurărilor rămân neînconjurate de partea neînșurată (de jugurile circuitului feromagnetic) și transformatoare cu manta sau cu culasă (v.), la cari jugurile au o parte paralelă cu coloanele înfășurate, care înconjură înfășurările. — Transformatoarele de putere trifazate normale au trei coloane. Asamblarea tolelor din coloane cu tolele jugurilor se face în două feluri: prin țesere sau prin suprapunere. Primul procedeu e cel obișnuit; el se realizează prin montarea alternată a tolelor decalate, conform fig. 1. Astfel, reluctanța întref erurilor poate fi neglijată. Aplicarea jugurilor



1. Miez cu asamblare țesută.
1) coloane; 2) juguri.

pe coloane, prin suprapunere sub presiune, permite demontarea mai ușoară a bobinelor, însă e mai complicată în execuție și implică un curent de magnetizare mai mare. —

Coloanele au secțiunea în trepte, pentru a se realiza un cât mai mare factor de umplere cu fier a secțiunii circulare disponibile în interiorul înfășurării de tensiune joasă. Numărul treptelor depinde de mărimea secțiunii. Jugurile au, în general, de asemenea, câteva trepte, pentru a se adapta secțiunii coloanelor, în vederea unei repartiții uniforme a fluxului. Începând dela un diametru interior al înfășurării de tensiune joasă de cca 200 mm, coloanele se presează, ca și jugurile, cu buloane și piulițe, cari sunt izolate de tole prin tuburi și prin rondoale izolante.

Transformatoarele mari au în miez canale de răcire paralele sau perpendiculare pe planul tolelor, ultimele fiind mai eficace, însă mai complicate în execuție.

Schela servește la strângerea și la fixarea miezului și a înfășurărilor, cum și la ridicarea lor din cuvă. Se compune din consolele pentru strângerea jugurilor și din tiranți, cum și din alte piese de presare și de fixare, în funcțiune de mărimea transformatorului.